Himmelskunde.




THE TRVSTEES OF THE
PVBLIC LIBRARY
OMNIVM
LVX
CIVIVM
OF THE CITY OF
BOSTON
1852 . 1878



Zu Plaßmann, Himmelskunde.

Die Vorderseite des Umschlages (bezw. der Einbanddecke) stellt das helle Milchstraßengebiet dar, dessen Maximum den Schnabel des Schwans bildet. Als Vorlage haben wir, mit gütiger Erlaubnis von Fräulein **Auguste Heis** in Münster, die siebente Karte im **Atlas coelestis novus** von **Eduard Heis** (Köln 1872) benutzt. Genaueres über die berühmte Milchstraßenzeichnung von Heis findet man S. 496 unseres Buches. Man bemerkt in der Darstellung außer dem Gradnetze und den Sternen die Umrisse einzelner Sternbilder (über die lateinischen Namen s. S. 33 ff.), die Heis dem Globus des Farnesischen Atlas im Museum zu Neapel entnommen hat, und die verschiedenen Nuancen der Milchstraße, den Beginn ihrer großen Gabelung, den Lichtabfall nach den Rändern und der Mittelrinne sowie — auf den Schwanzfedern des Schwans — einen der nördlichen Kohlensäcke.

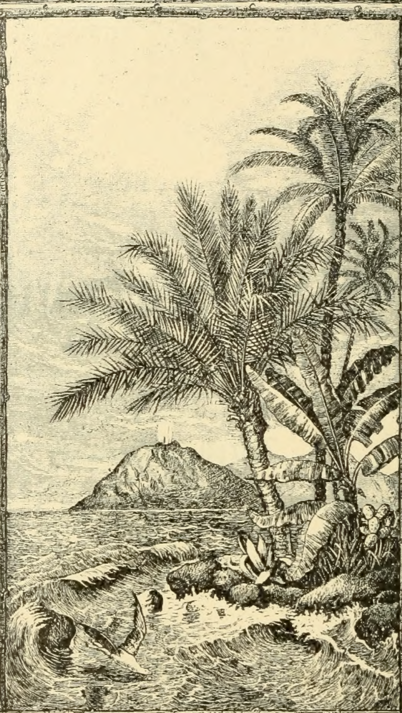
Himmelskunde.

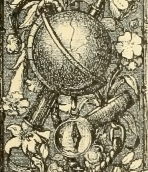
Von

Joseph Plaßmann.

Illustrierte Bibliothek der Länder- u. Völkerkunde.

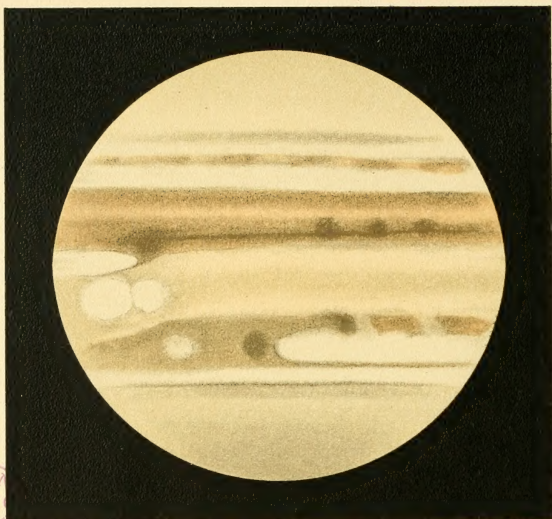




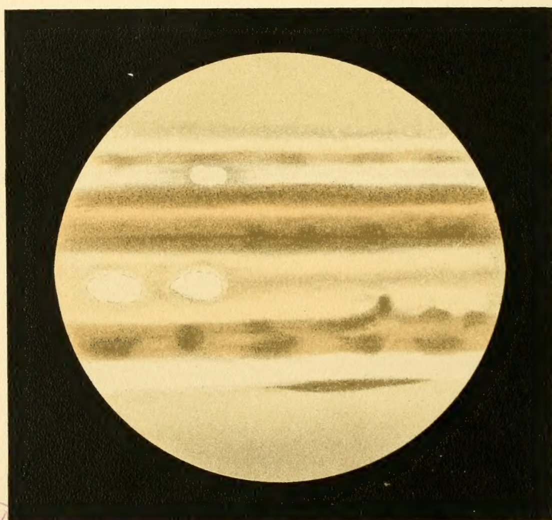








1897. Febr. 23. 10^h 10^m M. E. Z.



1897. Febr. 24. 9^h 35^m M. E. Z.

Jupiter.

Nach Beobachtungen von J. Rheden. Maßstab 1,9 mm : 1″.

Himmelskunde.

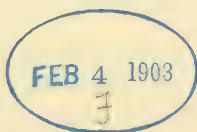
Versuch einer methodischen Einführung in die Hauptlehren der Astronomie.

Von

Joseph Plaßmann.

Mit einem Titelbild in Farbendruck, 216 Illustrationen und 3 Karten.

Freiburg im Breisgau.
Herdersche Verlagshandlung.
1898.
Zweigniederlassungen in Wien, Straßburg, München und St. Louis, Mo.



Buchdruckerei der Herderschen Verlagshandlung in Freiburg.

Vorwort.

Die Anordnung des Stoffes in dem vorliegenden Buche weicht von der sonst üblichen in mehreren Punkten ab.

Es ist die Aufgabe einer populären Astronomie, dem Leser ein volles Verständnis der einfachern Himmelserscheinungen und eine wirkliche Überzeugung von der Richtigkeit der an die Namen Coppernicus, Kepler und Newton sich knüpfenden Weltanschauung zu verschaffen. Sollte die zwingende Kraft der Beweise für die Kugelgestalt und die Bewegungen der Erde zur richtigen Geltung kommen, so mußte die unabhängig von jeder Theorie bestehende unermeßliche Entfernung der Fixsterne in den Vordergrund gestellt werden; noch ehe die tägliche Himmelsbewegung gelehrt wurde, mußte jene Thatsache bekannt sein. An den Beweisen für den Jahreslauf der Erde ist die konstante und meßbare Lichtgeschwindigkeit beteiligt; dem geschichtlichen Gange der Erkenntnisse entgegen, glaubten wir (S. 87) den physikalisch bestimmten Wert jener Größe zuerst mitteilen zu dürfen, um später (S. 177 ff.) an den aberrativen Vorgängen leichter die Überlegenheit des heliocentrischen Systems zeigen und sofort auch von der wahren Größe der auftretenden Strecken eine Vorstellung geben zu können; nachher (S. 186—188) tritt dann der Beweis durch die Parallaxenbestimmungen hinzu, abgesehen von weitern Bestätigungen, die sich gelegentlich noch aus dem Gravitationsgesetze ergeben, dessen physikalische Beweisbarkeit gleichfalls (S. 143) betont ist.

Der Präcessionslehre ist ein geeigneter Platz nur schwer anzuweisen. Will man sie, nach dem Vorgange strenger Didaktiker, noch vor dem heliocentrischen System behandeln, so ermüdet man den Lernenden, der ja doch nicht vollständig unbefangen an die Sache herantritt, vielmehr mit den Bewegungen der Erde von der Schule her vertraut ist oder es zu sein

glaubt. Zudem kann die theoretische Begründung der Notwendigkeit der konischen Erdachsenbewegung doch erst später, nach Erlangung der Kenntnis vom Gravitationsgesetze erfolgen; man wäre also gezwungen, einen für die meisten Leser unerquicklichen Stoff zweimal zu behandeln. Andererseits wird es, wenn man überhaupt erst bei den Anwendungen jenes Gesetzes von der Präcession reden will, vielleicht als Übelstand empfunden, daß bezüglich der Umlaufszeiten der Planeten die strenge Wahrheit nicht sofort mitgeteilt werden kann, und daß auch die Betonung des Unterschiedes zwischen den Zeichen und den Sternbildern zunächst vermieden werden muß. Nach reiflicher Überlegung und längerer Lehrerfahrung haben wir uns für die zweite Art entschieden. Es wird also (S. 210) Keplers drittes Gesetz einfach aus den tropischen Umlaufszeiten abgeleitet; die siderischen werden erst später (S. 238), eben in dem Kapitel von der Präcession neu eingeführt, worauf sich (S. 240) die strenge Gültigkeit des Gesetzes ergiebt, und zwar auch mit Rücksicht auf das inzwischen als notwendig erkannte Massenglied. Wer in diesem Verfahren eine Erschleichung sieht, darf z. B. auch nicht die tägliche Bewegung des Himmels definieren, ohne vorher die Refraktion weitläufig erklärt zu haben.

Der Mond wird an verschiedenen Stellen behandelt. Im elften Kapitel tritt er als Beispiel für Himmelskörper von meßbarer Entfernung und Größe auf, im zwölften werden seine Bewegungen erläutert und ganz gelegentlich einige Lehren über seine Beschaffenheit gegeben, wie denn auch an andern Stellen, schon um das Interesse des Lesers wach zu halten, einzelnes Deskriptive vorweggenommen ist. Man wird vielleicht tadeln, daß die Bewegungen der lunaren Knoten und Apsiden nicht, gleich der verwandten Präcession, einem später zu erreichenden Standpunkte vorbehalten sind. Aber es war uns um den Nachweis zu thun, daß die Chronologie und eine erste Finsternistheorie aufgebaut werden konnte ohne die Grundlage des coppernicanischen Systems. Dieses wird darum erst nach dem kalendarischen Kapitel in Angriff genommen. Da die Occultationen, woran der Mond beteiligt ist, im 21. Kapitel behandelt werden, blieb endlich für das 25., das den Mond als Weltkörper und in seinen Wechselbeziehungen zur Erde bespricht, verhältnismäßig weniges zurück.

Wenn in einem Buch von diesem Umfange der Erklärung des geometrischen Zusammenhanges so viel Raum gewidmet wurde, so konnte der

beschreibende Teil nur relativ vollständig sein. Niemand wird alles, was über diesen oder jenen Planeten, Doppelstern oder Nebelfleck gesagt werden kann, von einem populären Buche verlangen. Bei den Planeten glauben wir keinen wichtigern Punkt absichtlich verschwiegen zu haben; in der Stellar-Astronomie sind hauptsächlich Beispiele durchgesprochen: so bestimmte Veränderliche, so von den Nebeln das prächtige Gebilde im Orion. Erst recht sind die Schlußkapitel über die Instrumente und die Geschichte der Himmelsforschung mit Bewußtsein kurz und eklektisch gehalten.

Was an dem Buche zu loben ist, kommt auf Rechnung wohlgesinnter Gönner und liebenswürdiger Freunde, die uns mit lehrreichen Abbildungen, zum Teil auch mit Textbeiträgen, zu Hilfe kamen. Der besondere Dank des Verlegers wie des Verfassers gebührt der vatikanischen Sternwarte, die ihren reichen photographischen Bilderschatz hier zum erstenmal für ein deskriptives Werk zur Verfügung gestellt hat; der kaiserlich russischen Nikolaj-Hauptsternwarte zu Pulkowa für die Erlaubnis zur Wiedergabe der von Herrn Kostinski aufgenommenen und uns von ihm freundlichst übersandten Finsternisphotographie Fig. 90; dem Harvard College Observatory zu Cambridge (Mass., U. S. A.) für dasselbe Entgegenkommen bezüglich der Arequipa-Aufnahme vom Kreuz des Südens (Fig. 165) und dem Earl of Rosse Observatory zu Parsonstown in Irland bezüglich der (in Fig. 180 u. 184) wiedergegebenen berühmten Zeichnung des Orion-Nebels.

Der bekannte Milchstraßenforscher C. Easton in Rotterdam gestattete den Nachdruck des Hauptblattes seiner vor einigen Jahren veröffentlichten Zeichnung des galaktischen Gebietes (Fig. 163) und hatte auch noch die Freundlichkeit, uns den Aufsatz (S. 500—507) über die Verteilung der Sterne im Raume zur Verfügung zu stellen. Professor Schleyer in Hannover lieferte die Beschreibung der Königsberger Sternwarte (S. 594—596) und unterstützte mich, gemeinsam mit meinem verehrten hiesigen Amtsgenossen Prof. Buschmann, in opferwilliger Weise bei der Korrektur. Eine Reihe von Zeichnungen der Planeten Venus, Mars, Jupiter und Saturn, zum Teil mit beschreibendem Texte, verdanken wir der geübten Feder des Herrn J. Rheden, zur Zeit in Wien. Es spendeten ferner Prof. Max Wolf in Heidelberg die Milchstraßenphotographie Fig. 164, Herr E. Stephani in Cassel die Sternspurenbilder Fig. 8

und 9, endlich Herr Steuerinspektor Schmittdiel hierselbst die Karte der Circumpolarsterne. — Allen freundlichen Mitarbeitern auch auf diesem Wege herzlichen Dank!

Epsteins Geonomie (Wien, Karl Gerolds Sohn) sowie Littrows Wundern des Himmels (8. Aufl., Berlin, F. Dümmler), Newcomb-Engelmanns Populärer Astronomie (2. Aufl., Leipzig, Engelmann) und den großen Handbüchern von R. Wolf (Zürich, Schultheß) und Valentiner (Breslau, Trewendt) verdanken wir manche numerischen Angaben und Anregung für die Illustration. Man wird jedoch finden, daß wir in der Methode durchaus selbständig gewesen sind und auch jede Zahl darauf angesehen haben, ob sie sich nicht durch eine neuere und verbürgtere ersetzen ließe, mindestens durch eine auf der geänderten Annahme über den Sonnenabstand beruhende.

Warendorf 1898, März 19.

J. Plaßmann.

Inhalt.

Verzeichnis der Abbildungen.

(Die eingeschalteten Bilder sind durch stärkern Druck hervorgehoben.)

Titelbild: Jupiter. Aufnahmen vom 23. und 24. Februar 1897.

Karten am Schluß des Werkes:

Zu beachten.

S. 12, Fußnote 2, lies Kap. 10.

S. 30, Fußnote 1: Der Verleger des Globus ist Dietrich Reimer in Berlin.

S. 270, Tafel: Die Jahreszahl 1897 ist schon neben die mit Richarz beginnende Zeile zu setzen.

S. 328, 330: Die Nachweisbarkeit von Sauerstoff auf der Sonne ist neuestens wahrscheinlicher geworden.

S. 430, Zeile 11—12 lies: in Winkelsekunden für die mittlere Entfernung ♁ b und in Myriometern.

Übersicht der in diesem Buche gebrauchten Abkürzungen.

$1^a\ 2^d\ 23^h\ 56^m\ 4^s,091$ = 1 Jahr 2 Tage 23 Stunden 56 Zeitminuten $4^{91}/_{1000}$ Zeitsekunden.

$12^0\ 17'\ 37'',45$ = 12 Winkelgrade 17 Winkelminuten $37^{45}/_{100}$ Winkelsekunden.

m = Meter; km = Kilometer (1000 Meter); myriom = Myriometer (10 000 Meter); qm = Quadratmeter; ha = Hektar (10 000 Quadratmeter); g = Gramm; kg = Kilogramm (1000 Gramm).

arc, sin, cos, tan, cotan, sec, cosec = Arkus, Sinus, Kosinus, Tangens, Kotangens, Sekans, Kosekans.

☾	= Mond.	♅	= Uranus.
☿	= Merkur.	♆	= Neptun.
♀	= Venus.	☌	= Konjunktion.
♁	= Erde.	☍	= Opposition.
☉	= Sonne.	□	= Quadratur.
♂	= Mars.	RA, AR	= Rektascension(en).
♃	= Jupiter.	Decl	= Deklination(en).
♄	= Saturn.	M. E. Z.	= Mitteleuropäische Zeit.

Erstes Kapitel.

Die vertikale Linie und die horizontale Ebene. — Die Himmelskugel.

Daß der Mensch den Himmel anschaut, daß er sehnsuchtsvoll den ahnenden Blick nach unermeßlichen Fernen richtet, das ist in seiner Doppelnatur auf das tiefste begründet. Ihm ist ein Körper verliehen, der ihn fortwährend an die Erde fesselt, weil ihn seine ganze Einrichtung auf diesen beschränkten Wohnplatz hinweist; besonders empfindet er die mächtigste aller roh bewegenden Kräfte, die allgemeine Schwere, beständig als ein Hindernis der freien Bewegung, des Aufschwunges in den unendlichen Raum. Seine aufrechte Haltung will dieser Gewalt trotzen, sein Geist beschäftigt sich stets mit dem Gedanken an unbegrenzte Weiten, in dem richtigen Gefühle, daß die engen Lebensbedingungen auf dieser Erde ihm nicht genügen können. Thoren sind es, die da wähnen, einen Himmel im Sinne des Glaubens gebe es seit Coppernicus nicht mehr. Was wir ahnen und erstreben, das ist das Befreitsein von den Gesetzen der Materie, und da eben keines von ihnen uns in dem Maße zu bannen scheint wie die Anziehungskraft der Erde, so verlegen wir symbolisch überall den Himmel dorthin, wo wir dem Zwange jener Kraft entfliehen zu können glauben.

Es ist merkwürdig, aber eigentlich nicht zu verwundern, daß auch die wissenschaftliche Ortsbestimmung am Himmel zunächst von der Schwerkraft ausgehen muß. Die Richtung der Schwere läßt sich überall auf der Erde in einfacher Weise bestimmen. Ein ruhig hängender Faden, der durch ein Gewicht gespannt wird, giebt sie unmittelbar an; mittelbar die Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit, von der sich nachweisen läßt, daß sie mit der Richtung der Schwerkraft nach allen Seiten einen rechten Winkel bildet. Die Bestimmung durch das Lot[1] ist aus verschiedenen Gründen nicht sehr genau; weit schärfer arbeitet man mit dem Niveau[2] oder der Flüssigkeits-

---

[1] Lot = Blei, englisch lead; daher auch „löten", „lotrecht" und das Wort „Lot" als Gewichtsbezeichnung.

[2] Vom lateinischen libra, die Wage, kommt libella, die Wasserwage, woraus im Französischen liveau und später niveau wurde. Das englische level zeigt den Ursprung noch deutlicher. — Man unterscheidet runde Dosenlibellen und längliche Röhrenlibellen.

Oberfläche, und zwar hauptsächlich in zwei Formen. Schließt man Wasser, Weingeist oder Äther in ein durchsichtiges, nach oben schwach gebogenes Gefäß ein, das nicht vollständig davon gefüllt wird, so ist es leicht, mit dem Gefäße eine Ebene oder Linie zu verbinden, für die man aus der Stellung des leeren Raumes oder der Luftblase im Gefäße schließen kann, ob diese Ebene oder Linie zum Niveau parallel, d. h. auf der Richtung der Schwerkraft senkrecht ist. Die Libellen, welche sich an vielen astronomischen und geodätischen Instrumenten finden, beruhen auf diesem Gedanken. In anderer Form kann man das Niveau verwenden, wenn man die Eigenschaften des Lichtes zu Hilfe nimmt. Die wichtigste unter diesen ist die geradlinige Fortpflanzung in einem und demselben Mittel, eine der bestverbürgten Thatsachen der Naturwissenschaft. Hierzu tritt für unsern Zweck eine zweite wichtige Eigenschaft. Trifft der Lichtstrahl, nachdem er ein Mittel, z. B. Luft, durchsetzt hat, auf ein zweites, z. B. Quecksilber, so wird er zum großen Teile zurückgeworfen oder reflektiert, und zwar so, daß der auffallende und der reflektierte Strahl mit einer dritten Linie, dem Einfallslote, in einer Ebene liegen und gleiche Winkel mit ihm bilden. Als Einfallslot ist dabei die Linie zu denken, welche in dem Einfallspunkte auf der Grenzfläche der beiden Mittel senkrecht steht. In dem besondern Falle, wo das erste Mittel Luft und das zweite Quecksilber oder überhaupt eine ruhende Flüssigkeit ist, bemerken wir sofort, daß nach unsern Erklärungen das Einfallslot in jedem Punkte der Fläche die Richtung der Schwerkraft hat; wenn nun noch der Winkel des einfallenden Strahles mit dem Lote gleich null wird, d. h. wenn ein Strahl in der Richtung der Schwere auffällt, so muß von dem zurückgeworfenen Strahle dasselbe gelten, mit andern Worten: der Strahl wird in sich selbst zurückgeworfen. Dieser wichtige Vorgang liegt der Bestimmung der Richtung der Schwere durch den sogen. Quecksilber-Horizont zu Grunde; man wählt gerade diese Flüssigkeit, weil sie das Licht sehr kräftig zurückwirft und dabei ihres hohen Gewichts wegen leicht in Ruhe gehalten werden kann.

Von einer genauern Beschreibung der Apparate, die auf diese Arten die Richtung der Schwere zu bestimmen erlauben, muß hier abgesehen werden. Wir wollen uns mit der wichtigen Thatsache begnügen, daß diese Bestimmung überall mit großer Genauigkeit ausgeführt werden kann. Damit haben wir an jedem Orte eine feste Linie und eine feste Ebene gewonnen. Die Linie, nämlich die Richtung der Schwere, heißt die Vertikale[1]. Als mathematische Linie hat sie weder Anfang noch Ende; indem man auf ihr ein endloses Fortschreiten aufwärts von der Erde weg als möglich annimmt, gelangt man zum Begriffe des Scheitelpunktes als des unendlich fernen

[1] Das lateinische Wort vertex bedeutet den Scheitel oder Wirbel.

Punktes der Vertikalen, d. h. eines Punktes, den man vertikal über sich und weiter als jeden noch so weit entfernten Gegenstand annehmen darf. Man kann aber auch nach der andern Seite, also im Sinne der Schwerkraft durch die Erde hindurch, ein anderes Fortschreiten annehmen, wodurch man den Fußpunkt erhält. Scheitel- und Fußpunkt werden gewöhnlich mit den arabischen Namen Zenith und Nadir bezeichnet. Zenith und Nadir sind also die beiden unendlich fernen Punkte der Vertikalen; hierbei hat man auf den Sinn des Wortes „unendlich" wohl zu achten; es handelt sich, wie gesagt, einfach um ein Fortschreiten, das über jede angebbare Grenze hinausführen kann.

Jede Ebene, die man durch die Vertikallinie legen kann, heißt gleichfalls vertikal. Stellt man z. B. den Rücken eines Heftes aufrecht und breitet die Blätter nach allen Seiten aus, so gewinnt man ein Bild von der unendlichen Mannigfaltigkeit der möglichen Vertikalebenen.

Die auf der Vertikallinie senkrecht stehende Ebene, also das Flüssigkeitsniveau, heißt wagerecht, wasserrecht oder horizontal. Der Ursprung dieses Namens wird klar, wenn man in Gedanken das Auge auf das hohe Meer versetzt. Schreitet man dann auf der wagerechten Fläche nach irgend einer Richtung sehr weit fort, so sind die Punkte dieser Linie auf der Grenze zwischen Sichtbar und Unsichtbar: was über ihr liegt, kann man sehen, was unter ihr liegt, ist uns verborgen. Das gilt besonders auch von den unendlich fernen Punkten dieser und aller andern vom Beobachter ausgehenden Linien in der wagerechten Ebene. Es ist am natürlichsten, sich alle diese unendlich fernen Punkte — das Wort wieder in der vorhin festgesetzten Bedeutung genommen — auf einem Kreise angeordnet zu denken. Dieser Kreis, den uns die Natur auch wirklich hingezeichnet zu haben scheint, heißt mit Recht der Horizont[1] oder Grenzkreis. Aus einem Grunde, der sich später ergeben wird, werden wir ihn den scheinbaren Horizont nennen. Wie der einen vertikalen Linie unzählig viele Vertikalebenen, so entsprechen der einen horizontalen Ebene unzählig viele horizontale Linien; es sind die soeben gekennzeichneten Fortschreitungslinien. Ein Strahlenbüschel, auf ein horizontal liegendes Papier gezeichnet, stellt uns diese Mannigfaltigkeit vor.

* * *

Obgleich wir bis jetzt nur gerade Linien und Ebenen streng definiert haben, sind wir doch fast unmerklich auch zu einem Kreise gekommen, nämlich dem Horizonte. Der Vorgang ist merkwürdig genug, und wir wollen versuchen, ihn klarer zu stellen. Nehmen wir in einer weiten Ebene

[1] Vom griechischen ὁρίζων, begrenzend. Die Betonung des Wortes Horizont schwankt etwas. Trotz des griechischen Accentes ist es geschmacklos, die zweite Silbe zu betonen. Am besten hebt man wohl die dritte hervor. Vgl. ἐλέφας, Elefánt.

einen Punkt an; denken wir uns eine Stange von mehreren tausend Metern Länge, die in der Ebene um diesen Punkt gedreht wird. Ein Punkt auf der Stange selbst, etwa ein Meter vom Drehpunkte entfernt, wird dabei offenbar einen Kreis beschreiben; nehmen wir ihn zehnmal so weit an, so beschreibt er einen zehnmal so großen Kreis u. s. w. Ist es der unendlich ferne Punkt einer beliebig lang anzunehmenden Stange, so wird ein unendlich großer Kreis beschrieben. So kann man sagen, darf dabei aber nicht vergessen, daß von einem bestimmten Punkte, also auch von einem bestimmten Halbmesser, jetzt nicht mehr geredet werden darf, sondern von einem Punkte, den man in weitere Entfernung setzen kann als jeden noch so entfernten wirklichen Punkt.

Obgleich nun ein Kreis mit bestimmtem Durchmesser nicht entsteht, drängt uns doch unser Gefühl, auch hier einen Kreis anzunehmen. Was aber von der einen Horizontalebene gilt, kann man auch von den vielen vertikalen und schrägen Ebenen aussagen, die man durch den Beobachtungsort gelegt denken kann. Wir fühlen uns gedrängt, sie kreisförmig begrenzt zu denken, obgleich von einer wirklichen Begrenzung keine Rede sein kann. Und so begreift man, daß die Menschheit, solange sie sich mit der Himmelskunde beschäftigt, immer wieder auf die Vorstellung einer Kugel mit unendlich großem Radius zurückgekommen ist.

Diese Kugel, die sogen. Himmelskugel, ist zwar eine offenkundige Erdichtung, aber dabei ist sie das bequemste Hilfsmittel, um allerhand Lagenbeziehungen, die man rein stereometrisch nur mühsam und unbeholfen ausdrücken könnte, in einfacher Weise zu umschreiben. Hierin besteht der große Wert dieser mathematischen Erdichtung. Definieren wir sie noch einmal: Die Himmelskugel oder Sphäre ist eine Kugel, die man sich um den Beobachtungsort beschrieben denkt und deren Radius größer angenommen werden darf als jede noch so große Strecke.

Wir sagen: „um den Beobachtungsort"; noch besser wäre „um das Auge des Beobachters". Bei dieser Fassung sehen wir auch ein, wie die Kugelvorstellung entsteht. Selbst kugelförmig und von kleinem Umfange, ist das Auge im allgemeinen nicht bestimmt zum Abschätzen von Entfernungen. Dazu sind immer gewisse Verstandesschlüsse notwendig, die allerdings bei geringen Entfernungen fast rein instinktiv gemacht werden. Aber bei irgend größerem Abstande, z. B. bei den meisten Wolken, erkennen wir nur mehr die Richtung, worin das Objekt steht, nicht mehr die Entfernung. Wie nun auf der einen Netzhautfläche eine große Schar von Körpern, z. B. von Sternen, abgebildet wird, so sucht man auch die Körper selbst auf einer Fläche angeordnet zu denken, die allseitig geschlossen ist. Als einfachste bietet sich die Kugelfläche dar.

Man würde aber irren, wenn man das sogen. Himmelsgewölbe, das Firmament, mit der Himmelskugel verwechseln wollte. Es verdankt sein Bestehen zwar auch der unbewußt schöpferischen Verstandesthätigkeit. Aber dieses Firmament, dessen blaue Farbe nichts anderes als die Farbe der Luft ist, erscheint uns keineswegs als eine Halbkugel, deren Centrum der Beobachter ist, sondern, zumal bei gewissen Witterungszuständen, als sehr flache Schale oder Mütze, als Stück einer Kugelfläche, deren Centrum tief unter uns liegt. Es ist zu beachten, daß die rein geometrische Vorstellung der Himmelskugel davon ganz unberührt bleibt. Auch für den Luftfahrer, dem in höhern Regionen statt der freundlich schimmernden azurnen Wölbung die schwarze Leere entgegenstarrt, deren Schrecknisse ein Stifter[1] so anschaulich gezeichnet hat, — auch für ihn bleibt die Himmelskugel als mathematischer Begriff noch bestehen.

Wenn wir uns nun einige wichtige Eigenschaften der Kugelfläche vergegenwärtigen, so wird uns die abgekürzte Ausdrucksweise der Astronomen sehr bald klar werden. Eine Kugelfläche wird von jeder Ebene, deren Abstand vom Centrum kleiner als der Halbmesser ist, in einem Kreise geschnitten. Geht die Ebene durch den Mittelpunkt der Kugel, so fällt der Schnittkreis am größten aus; sein Radius ist dann gleich dem Radius der Kugel selbst. Ein solcher Kreis wird Hauptkreis genannt, auch wohl ein größter Kreis. Das Centrum eines Hauptkreises ist das Centrum der Kugel selbst. Zwei Hauptkreise durchschneiden sich in einem Kugeldurchmesser. In einer Zeichnung erscheinen die Hauptkreise gewöhnlich als Ellipsen oder Langkreise. Ein Beispiel gewährt unsere Fig. 1, wo nur der Kreis ACDF in seiner wahren Gestalt erscheint. Die Kreise BCEF und ABDE sind perspektivisch verzerrt; ihre Durchschnittslinie EB ist in Wahrheit ebenso lang, wie die beiden andern gezeichneten Kugeldurchmesser, nämlich CF und AD, worin die Kreise den Kreis ACDF schneiden.

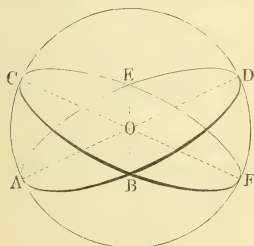


Fig. 1. Drei sphärische Hauptkreise.

Der Begriff des Hauptkreises liegt auch dem gewöhnlichen Verstande ganz nahe, nur wird er meistens in weniger strenger Form angedeutet. Wer hat nicht schon gesehen, daß drei Sterne gänzlich oder nahezu „in gerader Linie" zu stehen scheinen? oder daß eine Menge von gleichartigen Wolken, etwa von den bekannten Schäfchen, geradlinig angeordnet war? Suchen wir diesen Ausdruck richtig zu deuten. Es liegt ihm offenbar die

[1] Vgl. den ersten Abschnitt seiner Erzählung „Der Kondor".

Vorstellung zu Grunde, man könne eine gerade Linie, etwa einen Stab, so halten, daß dadurch alle in Betracht kommenden Punkte, z. B. alle drei Sterne, für uns bedeckt werden. Denn da wir über die Entfernung der Sterne von unserem Auge nichts wissen, so denken wir nicht, man könne an die Sterne selbst ein Lineal anlegen, das sie alle drei berührte. Nun ist durch eine gerade Linie und einen Punkt außer ihr eine Ebene bestimmt; der Ausdruck, daß die drei Sterne in gerader Linie liegen, bedeutet also, daß sie sich mit dem Auge in einer Ebene befinden, oder was dasselbe sagt, daß sie an der gedachten Himmelskugel einem größten Kreise angehören.

Zweites Kapitel.

Das Bogenmaß an der Himmelskugel. — Zenithdistanz und Höhe.

In einem Gedichtchen von Matthias Claudius streiten sich Hinz und Kunz über die Größe der Sonne. Der eine glaubt, das Tagesgestirn mit einem Straußenei vergleichen zu sollen, wird jedoch von dem andern darüber belehrt, daß sie so groß wie ein Fuder Heu ist; er ruft voll Erstaunen aus: „Wer dächte, daß es möglich sei? Potztausend! als ein Fuder Heu!“

Diese Hinz und Kunz sind durchaus nicht so seltene Leute, wie man wohl glauben möchte; gerade unter den angeblich Gebildeten haben sie manchen Vetter. Man zeige einer größern Gesellschaft irgend eine hübsche und auffallende Konstellation, etwa Venus mit der Mondsichel oder Jupiter mit dem Regulus, und man frage, wie weit die beiden Himmelskörper auseinander zu stehen scheinen. Die Antworten, die man fast regelmäßig zu hören bekommt, stehen gerade auf der Höhe der Straußenei-Astronomie: „zwei Handbreit“ oder „drei Meter“ oder „fünf Spannen“.

Dabei glaube man nicht, wir wollten die Kenntnis der wirklichen linearen Entfernungen vom Publikum verlangen. Es handelt sich hier keineswegs darum, wie weit Venus vom Monde in Kilometern absteht, sondern wie weit sie für uns im Winkel voneinander entfernt sind. Das erste interessiert uns hier noch gar nicht, das zweite desto mehr. Da sich das Licht in gerader Linie[1] fortpflanzt, so steht ein Stern jedenfalls in der Richtung, aus der uns seine Strahlen zukommen. Bringen wir also einen Stab oder ein Fernrohr in diese Richtung, so können wir sagen, daß die verlängerte Stabrichtung durch den Stern geht — einerlei, wie weit er von uns entfernt sein mag. Die Richtung eines zweiten Stabes gehe in derselben Weise durch einen zweiten Stern. Die beiden Stäbe bilden miteinander

[1] Von der später zu besprechenden atmosphärischen Strahlenbrechung abgesehen.

einen Winkel, und die Größe dieses Winkels ist vorläufig das einzige, was wir messen können. Ist z. B. der Mond an einem Nachmittage gerade im ersten Viertel, und wir sehen ihn ziemlich hoch am Himmel stehen, während sich die Sonne zum Untergange anschickt, so können wir die Richtungen zu der Sonne und dem Monde, genauer, zu ihren Mittelpunkten, gezogen denken; sie werden ziemlich genau einen rechten Winkel miteinander machen. Sehen wir dagegen der untergehenden Sonne gegenüber den Vollmond im Osten aufgehen, so bilden die Linien, die man vom Auge zu den beiden Himmelskörpern gezogen denken kann, nahezu eine einzige Gerade oder einen Winkel von 180°.

Um kleinere Winkel messen zu können, teilt man bekanntlich den rechten in 90 Grade (90°), den Grad in 60 Minuten (60′), die Minute in 60 Sekunden (60″) und die Sekunde wieder in Zehntel und Hundertstel ein. In der Himmelskunde wird diese Einteilung beständig verwendet. Wir wollen z. B. die scheinbare Größe der Sonne angeben. Wir fassen zu dem Zwecke etwa den vertikalen Durchmesser der Sonnenscheibe ins Auge, indem wir vom Auge aus eine Linie nach seinem höchsten und eine andere nach seinem tiefsten Punkte gezogen denken. Der Winkel, den die beiden Linien miteinander machen, etwas mehr als ein halber Grad, ist die scheinbare Größe oder Winkelgröße der Sonne. Grundsätzlich kann sie schon mit den einfachsten Instrumenten ermittelt werden; die Verbindung des Fernrohres mit den Meßwerkzeugen steigert nur die Genauigkeit des Messens.

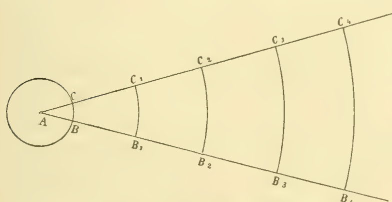


Fig. 2. Messung des Winkels durch den Bogen.

Was der Astronom unmittelbar messen kann, das sind nur die Winkelgrößen. Wir werden später hören, daß er diese auf lineare Größen zurückführen kann mit Hilfe der Kenntnisse über Größe und Gestalt der Erdkugel, die ihm der Geodät liefern muß, allerdings mit fortwährender Unterstützung durch den Astronomen selbst.

Die Vorstellung einer Himmelskugel mit beliebig großem Radius giebt uns eine neue, vielfach gebrauchte Bezeichnungsweise an die Hand. In unserer Figur 2 ist CAB ein Winkel von 30°. Das bedeutet, daß der zugehörige Bogen auch 30° oder den zwölften Teil vom Vollkreise beträgt. Dies gilt von dem Bogen CB, wo der ganze Kreis gezeichnet ist, nicht minder aber von den Bogen C_1B_1, C_2B_2 u. s. w.; jeder ist gleich 30° oder dem zwölften Teile eines vollen Kreises, auch der Bogen $C_\infty B_\infty$ zwischen den unendlich fernen Punkten der beiden Linien. Sehen wir nun

zwei Himmelskörper, z. B. den Planeten Jupiter und den Fixstern Regulus, so werden wir durch die beiden Gesichtslinien, also durch die Punkte[1] Auge, Jupiter und Regulus eine Ebene gelegt denken, die aus der Himmelskugel einen größten Kreis ausschneidet. Die beiden Gesichtslinien treffen die Sphäre in zwei Punkten, eben den Punkten, wohin wir die beiden Sterne versetzen; das Bogenstück dazwischen hat, in Graden gemessen, dieselbe Größe wie der Winkel der Gesichtslinien.

Wird uns nun, um ein neues Beispiel zu nehmen, etwa mitgeteilt, daß das sogen. Reiterchen im Großen Bären elf Minuten (11′) von dem benachbarten hellen Schwanzsterne absteht, so bedeutet das in aller Strenge, daß die Gesichtslinien nach diesen beiden Sternen den kleinen Winkel von $^{11}/_{60}$ Graden miteinander machen; an der gedachten Himmelskugel läßt sich dann durch die von den Gesichtslinien bezeichneten Punkte ein Hauptkreisbogen von gleichfalls 11′ oder $^{11}/_{21600}$ des ganzen Kreises legen. Über die wahre Entfernung der Sterne voneinander wird dabei so wenig etwas ausgesagt wie über ihre Entfernung von der Erde.

Wir können nunmehr für den Ort eines Sternes an der Himmelskugel schon eine unzweideutige Angabe machen; eine zweite muß sich später ergeben. Es ist uns eine feste Ebene bekannt, nämlich die auf der Richtung der Schwerkraft normale, die wagerechte oder horizontale Ebene. Sie schneidet die Himmelskugel in einem Hauptkreise, dem Horizonte; durch diesen Gedanken sind wir ja eben auf die Vorstellung von der Himmelskugel überhaupt gebracht worden. Ebenso kennen wir die feste Richtung der Schwerkraft selbst und die durch sie an der Sphäre bestimmten Punkte, Zenith und Nadir. Denken wir uns nun in einem gegebenen Augenblicke die Richtung zu einem bestimmten Sterne gezogen, so wird diese mit der vertikalen Linie einen Winkel machen; dieser Winkel heißt die Zenithdistanz (z) des Sternes, und der Grund dafür ist dieser, daß die durch die Vertikale und den Stern gelegte Ebene einen Hauptkreis aus der Sphäre schneidet, von dem ein bestimmtes Stück, nämlich die Distanz des Sternes vom Zenith, jenem Winkel im Bogenmaße entspricht. Dieselbe Vertikalebene schneidet aus der Horizontalebene eine Linie heraus, die wir die Projektion der Gesichtslinie auf den Horizont nennen können. Diese Projektion bildet mit der Gesichtslinie selbst einen zweiten Winkel, der offenbar den ersten zu einem rechten ergänzt; er heißt die Höhe (h) des Sternes. Man kann sie natürlich auch als einen an der Sphäre gemessenen Bogen auffassen, der von dem Sterne selbst bis zu dem genau unter ihm liegenden Punkte des Horizontes geht und den zuerst beschriebenen Bogen zu einem Viertelkreise ergänzt. Ob man sich der Hilfsvorstellung von der Sphäre bedient oder nicht, in jedem Falle

[1] Oder genauer, durch die Mittelpunkte dieser drei Körper.

hat man die Gleichung $z + h = 90^0$; $z = 90^0 - h$; $h = 90^0 - z$. Es ist leicht, diese Begriffe auch auf solche Sterne auszudehnen, die immer oder zeitweilig unsichtbar sind, weil sie unter dem Horizonte stehen. Für diese ist die Höhe negativ und die Zenithdistanz größer als 90^0.

Der astronomische Begriff der Höhe ist auch dem gewöhnlichen Sprachgebrauche nicht fremd. Wenn eine Hitzwolke gerade über unserem Haupte steht, während fern am Horizonte ein Federwölkchen schwimmt, so wird jeder die Hitzwolke die höher stehende nennen, obgleich die wahre Entfernung von der Erdoberfläche für das Cirruswölkchen die zehnfache der andern Wolke sein kann. Auch bei der Beobachtung der Gestirne ist es für die Winkelhöhe gleichgültig, wie weit ein Objekt von uns entfernt sein mag. Es kommt nur auf die Richtung an, worin es steht.

Durch die Zenithdistanz oder Höhe ist der Ort eines Sternes an der Sphäre noch nicht vollständig bestimmt. Man fasse einen gewöhnlichen Zirkel so, daß der Scheitel unten und der eine Schenkel vertikal steht, und drehe dann den andern um diesen. Der bewegliche Schenkel beschreibt dann einen Kegelmantel. Denkt man sich das Auge im Scheitel des Zirkels und die Stangen beliebig verlängert, so haben in jeder Stellung alle Punkte der beweglichen Stange immer dieselbe Zenithdistanz, die gleich dem Öffnungswinkel des Zirkels ist. Wird also angegeben, ein Stern habe die Zenithdistanz z oder auch die Höhe h, so wissen wir nur, daß er auf einem Kegelmantel liegt, der mit dem Öffnungswinkel z oder $90^0 - h$ um die Vertikale beschrieben ist. Wo er wirklich liegt, nach welcher Seite und in welcher Entfernung vom Auge, das ist zunächst unbekannt.

Die gedachte Himmelskugel wird von diesem Kegelmantel in einem kleinen Kreise geschnitten, der parallel zum Horizonte läuft und Höhenkreis oder arabisch Almukantarat genannt wird. Da die sphärische Betrachtung von dem wahren Abstande gänzlich absieht, können wir sagen, daß alle Sterne von bestimmter Höhe und bestimmter Zenithdistanz auf einem gewissen Almukantarat liegen. Eine genauere Bestimmung wird sich in einem spätern Kapitel aus dem Begriffe der täglichen Bewegung ergeben.

Drittes Kapitel.

Die Fixsterne und ihre unermeßliche Entfernung. — Tägliche Bewegung des Himmels.

Unter den Himmelskörpern giebt es einige, die die Stellung zu einander und zu den übrigen beständig zu wechseln scheinen; von den mit freiem Auge sichtbaren sind es Sonne und Mond, Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn und Uranus und die zuweilen sichtbaren Kometen. Merkur ist nur

unter besonders günstigen Umständen sichtbar, Uranus ist ein sehr lichtschwaches Sternchen, das der Grenze der Sichtbarkeit für unbewaffnete Augen nahe steht. Die übrigen sind durch ihr Aussehen so gekennzeichnet, daß man sie nicht mit andern verwechseln kann. Wir werden nun von den acht genannten Himmelskörpern absehen und uns dem großen Heere der sonstigen mit freiem Auge sichtbaren Himmelskörper zuwenden.

Diese Sterne erscheinen dem guten Auge als mehr oder weniger helle Pünktchen. Die Punktgestalt ist um so schärfer zu sehen, je besser das Auge und der Luftzustand ist. Der Kurzsichtige sieht große runde Kugeln, andere Augenfehler bringen das strahlige Aussehen zuwege, eine so allgemein bekannte Erscheinung, daß sie dem Stern als Element der Zeichenkunst (*) zu Grunde gelegt wird (vgl. den Schluß des 9. Kapitels). Das Fernrohr zeigt, und zwar desto schöner, je besser es ist, die Sterne[1] als unteilbare scharfe Punkte.



Fig. 3. Hauptsterne des Großen Bären.

Achtet man an einem klaren Abende längere Zeit auf den Sternhimmel, und vergleicht man namentlich die Sterne mit den in derselben Richtung stehenden irdischen Gegenständen, z. B. Bäumen, Häusern und Türmen, so erkennt man, daß alle Sterne in beständiger Bewegung begriffen zu sein scheinen. In einer bestimmten Gegend, die wir die Ostgegend nennen wollen, steigen sie beständig höher, in der gegenüberliegenden Westgegend sinken sie herab, um am Ende in den Dünsten nahe beim Horizonte zu verschwinden. Dabei rücken in unsern Gegenden weitaus die meisten Sterne nach der rechten Hand weiter, kein einziger von den tiefer stehenden nach links. Schon nach einer Stunde ist der Anblick des Sternenhimmels merklich geändert. Es ist aber doch etwas geblieben, und das ist die gegenseitige Lage der Sterne. So wird man bei einer nach allen Seiten ungehinderten Aussicht an jedem Orte im mittlern Europa in klaren Nächten jederzeit eine Sterngruppe



Fig. 4. Figur des Großen Bären.

[1] Immer von jenen acht und einer Anzahl von teleskopischen abgesehen.

auffinden können, die seit den ältesten Zeiten mit den zwei Namen Himmelswagen und Großer Bär benannt worden ist[1]. Unsere Fig. 3 zeigt die sieben Hauptsterne dieses Bildes nebst einem etwas tiefer stehenden. Bei der Wichtigkeit des Sternbildes geben wir davon noch eine zweite besondere Abbildung in unserer Fig. 4 und in Fig. 5 eine Karte, die einem ältern Himmelsatlas entlehnt ist. Man sieht in diesen Figuren nach altertümlicher Weise die Umrisse der Tiergestalt nachgezogen; auf Fig. 5 sind noch viele schwächere Sterne beigefügt, darunter auch manche dem freien Auge unsichtbare. Warum kann man solche Karten zeichnen? Weil die Gestalt des Sternbildes in langen Zeiträumen unveränderlich ist. Versuchen wir uns die Bedeutung dieses Satzes klar zu machen. Die Gesichtslinien nach den Sternen α und β im Großen Bären machen in einem bestimmten Augenblicke miteinander den Winkel von $5^2/_5$ Graden. Dieser Winkel bleibt stets derselbe, der Große Bär mag hoch über unserem Haupte stehen, wie im April gegen 10 Uhr abends, oder tief im Norden, wie im Oktober zu derselben Stunde, oder, den Kopf nach oben, an den Januarabenden im Osten, oder, den Kopf nach unten, im Westen gegen 10 Uhr abends im Juli. Was aber von α und β gilt, das gilt, wie die Beobachtung zeigt, nicht minder von α und γ, sowie von jedem andern Sternpaare. Wir bekommen immer andere Winkel, aber für dasselbe Paar bleibt der Winkel derselbe. Das gilt, wie gesagt, für alle möglichen Paare, wobei zu bemerken ist, daß schon die acht Sterne unserer Fig. 3 nicht weniger als $7 \times 8 : 2 = 28$ Paare ergeben, während für die Sterne der Fig. 5 die Anzahl der Paare in die Millionen geht.

Wir können uns also die Richtungslinien nach allen diesen Sternen zu einem starren Gestell verbunden denken. Die Linien dieses Gestells durchsetzen jede um das Auge beschriebene Kugel in ebensovielen Punkten. Man kann sich in allen diesen Punkten die Sterne an der Sphäre angeheftet denken, ohne daß man damit aussagt, man hielte sie wirklich alle für gleich weit entfernt von uns. Jedem Winkelabstande entspricht ein Bogenabstand von denselben Maßen; wir können uns also z. B. zwischen α und β einen Bogenabstand von $5^2/_5$ Graden vorstellen. Ja wir können eine künstliche Kugel von beliebigem Durchmesser, einen Himmelsglobus anfertigen, worauf das ganze Sternbild angebracht ist; und endlich können wir das Bild nach den Regeln der Perspektive auf ein ebenes Blatt übertragen. In der That sind auf diese Weise unsere Sternkarten entstanden; natürlich braucht

[1] Schon Homer läßt Hephästos auf dem Schilde des Achill „den Bären, den man auch den Wagen nennt", anbringen (Ilias 18, 487) und den Odysseus (Od. 5, 273) nach derselben doppelt benannten Sterngruppe auf hoher See ausschauen.

man die Kugel vorher nicht wirklich zu haben; es genügt, die Vorstellung davon zu besitzen nebst den Ergebnissen der Winkelmessung.

Aber dieses Gesetz, daß die Sterne an der Sphäre festgeheftet, daß sie Fixsterne, stellae fixae[1], sind, macht keineswegs Halt an den künstlichen Grenzen der Sternbilder. Die unserem Buche angehängte Sternkarte für das nördliche und mittlere Europa (Tafel III) zeigt etwas rechts von der Mitte den Großen Bären. Wir bemerken, daß eine Linie von α nach δ dieses Sternbildes, mehrfach verlängert, auf α im Bootes trifft, dagegen eine von β nach α gezogene, gleichfalls nach mehrfacher Verlängerung, auf α im Kleinen Bären, hart an der Mitte der Karte. Alle diese Beziehungen sind durch sehr lange Zeiten so gut wie unverändert, namentlich auch die Abstände der Sterne voneinander im Bogenmaß. Man sieht auf einmal immer nur einen Teil des auf der Karte dargestellten Gebietes, während das übrige unter dem Horizonte liegt; was wir aber sehen, dafür gilt auch[2] das ausgesprochene Gesetz, und nur dieses macht die Anfertigung von Fixsternkarten überhaupt möglich.

Trotzdem könnte gerade ein aufmerksamerer Beobachter an der absoluten Richtigkeit dieses Gesetzes zweifeln. Beobachtet man mehrere Stunden lang den Himmel, so scheinen sich Unterschiede herauszustellen. So kommt uns der Große Bär, wenn er dem Zenith nahe steht, merklich kleiner vor als tief im Norden. Bestimmen wir indessen die Winkelabstände der einzelnen Sterne, so stellen sie sich zu unserer Überraschung dennoch als unveränderlich heraus[2], und es muß also eine Urteilstäuschung vorgelegen haben. Diese zeigt sich auch, wenn wir den Mond einmal in der Nähe des Horizontes, das andere Mal in größerer Höhe beobachten. Er wird in der Tiefe viel größer aussehen; ja wir glauben das sogar für die einzelnen dunkeln Flecken nachweisen zu können, und doch ist es eine Täuschung, die auch sofort durch die einfachste Winkelmessung aufgedeckt werden kann. Es ist dieselbe Täuschung, vermöge deren uns eine Straße viel schmäler erscheint, wenn wir sie von einem 50 m hohen Turme aus betrachten, als wenn wir zu ebener Erde aus 50 m Abstand in sie hineinsehen. Das Auge ist geneigt, alles desto größer zu schätzen, je näher die Gesichtslinie der Horizontalebene kommt.

Noch ein anderer Zweifel bleibt zu lösen. Gilt das Gesetz von der unveränderlichen Anordnung der Sterne nur für einen bestimmten Beobachtungsort oder für die ganze Erde? Die Frage ist berechtigt, denn was wir sonst am Himmel sehen, und zwar anscheinend in nicht viel geringerem Abstande als die Sterne, nämlich die Wolken, das zeigt von Ort zu Ort eine

---

[1] Vom lateinischen figo, fixi, fixum, heften.

[2] Mit absichtlicher Vernachlässigung des kleinen Fehlers, den die atmosphärische Strahlenbrechung verursacht. Vgl. Kap. 9.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 11.

Fig. 5. Genaue Karte vom Sternbild des Großen Bären.

(Nach Hoffmann, Himmels-Atlas. Stuttgart 1842.)

erhebliche Abweichung. Könnte es mit den Fixsternen nicht auch so sein? Die Messungen ergeben das Gegenteil; der Winkelabstand zweier Sterne voneinander ist nicht nur durch lange Zeiten immer derselbe, sondern er erscheint auch überall auf der Erde gleich groß, wo man nur die beiden Sterne überhaupt gleichzeitig sehen kann[1]. Hieraus folgt, daß die Fixsterne im Vergleich zu jeder irdischen Entfernung als unermeßlich weit anzusehen sind. Diese äußerst wichtige Wahrheit macht das Auffinden vieler andern erst möglich, und zugleich giebt sie uns eine Ahnung von der gewaltigen Größe des Weltgebäudes. Es ist darum nötig, sie für den mathematisch gebildeten Leser in aller Schärfe zu beweisen.

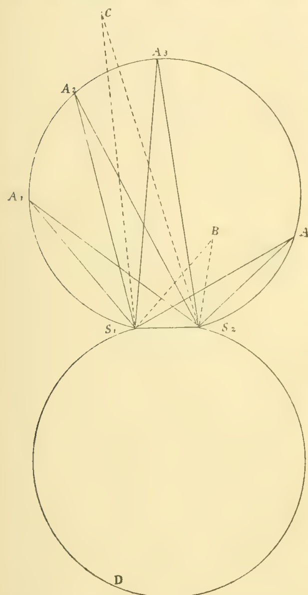


Fig. 6. Peripheriewinkel über demselben Bogen.

S_1 und S_2 (Fig. 6) seien die wahren Örter zweier Sterne im Raume, und es sei auf der ganzen Erde oder vielmehr überall dort, wo man S_1 und S_2 auf einmal sehen kann, ihr Winkelabstand voneinander zu 13° bestimmt worden. Wir beschreiben nun über der Strecke $S_1 S_2$ die beiden Kreisbogen $S_1 A_1 A_2 A_3 A_4 S_2$ und $S_1 D S_2$, die, wie man in der Schulmathematik zu sagen pflegt, des Peripheriewinkels von 13° fähig sind oder diesen Winkel fassen. Die Gesichtslinien nach S_1 und S_2 von irgend einem Punkte A auf einem der Kreisbogen machen dann immer den Winkel von 13° miteinander; und umgekehrt, erscheint aus einem Punkte der Zeichenebene der Winkelabstand von S_1 und S_2 in dieser Größe, so muß der Punkt auf einem der Kreise liegen. Denn läge er innerhalb des von den Kreisen umschlossenen Raumes, etwa bei B, so wäre der Winkel $S_1 B S_2$, wie sich leicht erweisen läßt, größer als 13°; läge der Punkt außerhalb jenes Raumes, etwa bei C, so ergäbe sich ein Winkel, der kleiner als 13° wäre.

Denkt man sich die von den beiden Kreisen gebildete Figur aus der Ebene heraus um $S_1 S_2$ gedreht, so entsteht ein eigentümlicher Körper, der fast an ein rundes, auf beiden Seiten tief eingedrücktes Kissen erinnert.

---

[1] Siehe Note 2 auf S. 12.

Die Oberfläche dieses Körpers umfaßt also alle Punkte des Raumes, aus denen der Winkelabstand von S_1 und S_2 in der Größe von 13^0 erscheint. Die Erdoberfläche kann, so scheint es, von der Gestalt dieser Umdrehungsfläche nicht abweichen; merkwürdigerweise ist deren hohle Seite nach den Sternen hingewandt.

Aber nun kommt die Thatsache hinzu, daß nicht nur für die Sterne S_1 und S_2, sondern noch für ein anderes Paar, etwa S_3 und S_4, das Gesetz der Unveränderlichkeit des Winkelabstandes gilt. Es handelt sich da vielleicht um einen andern Winkel, der natürlich eine anders gestaltete Fläche ergiebt, die dazu noch jedenfalls anders liegt. Soll die Erdoberfläche all den Tausenden von Umdrehungsflächen angehören, die man um alle möglichen Sternpaare beschreiben kann? Unmöglich; und doch verlangt es die unwiderlegliche Beobachtung und der untrügliche geometrische Satz.

Aus dieser Enge giebt es nur einen Ausweg. Wir müssen die Sterne für unermeßlich weit ansehen, d. h. für so weit entfernt, daß dem gegenüber jede irdische Entfernung verschwindet. In diesem Falle müssen alle Strahlen, die von einem und demselben Fixsterne aus zur Erde kommen, als parallel angesehen werden. Zeichnen wir eine Reihe von irdischen Orten in irgend einem Maßstabe auf, so können wir die unermeßlich weiten Sterne nicht in die Zeichnung bringen. Unsere Fig. 7 zeigt nun ein Bündel von Parallelstrahlen, das von oben links herkommt, nämlich von einem in jener Richtung unermeßlich weit liegenden Sterne, während das andere Bündel von einem zweiten Sterne ausgeht. Wo wir uns auch in der Zeichenebene befinden mögen, in A_1, A_2 . . ., B_1, B_2 . . . u. s. w., überall bilden die Strahlen der beiden Bündel denselben Winkel miteinander. Das ist leicht auf den Raum auszudehnen und auch auf beliebig viele Sternpaare.

Wir werden also durch die Beobachtung gezwungen, die Fixsterne für unermeßlich entfernt zu halten; diese Annahme erklärt alles, und einen andern Ausweg giebt es nicht. Nur durch eine später auseinanderzusetzende Methode, wobei von einer viel größern Basis als der Erde ausgegangen wird, kann man für einige Fixsterne die Entfernung dennoch bestimmen und für die andern haltbare Vermutungen gewinnen.

Zugleich ergiebt sich, daß wir über die Gestalt der Erdoberfläche vorläufig nichts aussagen können. Wie sie auch sein möge — wenn die Sterne unermeßlich weit sind, gilt das Gesetz von der Unveränderlichkeit der Winkelabstände, und umgekehrt.

* * *

Die Unveränderlichkeit des Anblickes der Sternbilder ist es, die den meisten Menschen instinktiv die Vorstellung von der Unermeßlichkeit des Himmels verschafft. Wir müssen aber diese Unveränderlichkeit richtig ver-

stehen. Es kann wohl vorkommen, daß ein Beobachter den Großen Bären in laufender Stellung sieht, während er einem andern Beobachter in einem entfernten Weltteile auf- oder absteigend erscheint. Es kommt auf die Unveränderlichkeit der Stellung der Fixsterne zu einander an, nicht auf ihre Stellung zu der Schwerkraftslinie oder irgend einer andern aus irdischen Verhältnissen abgeleiteten Richtung. Wenn z. B. (Fig. 7) an dem Beobachtungsorte A_4 die gestrichelte Linie die Richtung zum Zenith oder die umgekehrte Schwerkraftsrichtung angiebt, in F_2 dagegen die dort angebrachte Linie, so sieht der erste Beobachter den links stehenden Stern, nennen wir ihn S_1, nur wenig links vom Zenith, den andern, der S_2 heißen möge, rechts in weiterer Zenithdistanz; D_2 sieht dagegen S_1 gar nicht mehr, weil dessen Zenithdistanz für ihn mehr als 90° beträgt; er sieht S_2 links vom Zenith. Ein dritter Beobachter F_2 sieht vielleicht S_2 in geringer, S_1 in sehr großer Zenithdistanz. Überall aber, wo man beide Sterne auf einmal sieht, da bilden die Gesichtslinien denselben Winkel miteinander, wenngleich verschiedene Winkel mit der Richtung der Schwerkraft. Das wird uns später ein gutes Mittel geben, die Schwerkraftsrichtungen verschiedener Orte miteinander zu vergleichen.

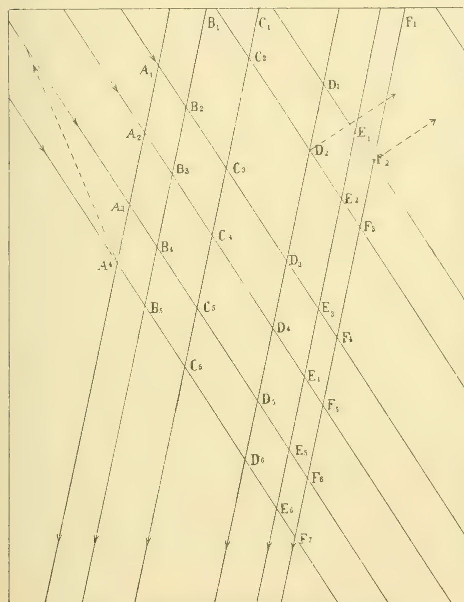


Fig. 7. Unermeßliche Entfernungen der Fixsterne.

* * *

Die Beobachtung hat uns gelehrt, daß der ganze Himmel in beständiger Bewegung zu sein scheint, oder daß die Sphäre, woran die Fixsterne festgeheftet zu sein scheinen, sich beständig dreht. Diese Umdrehung vollzieht sich in sehr langen Zeiträumen merklich genau um dieselbe feststehende Achse

und sehr genau mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Verlängert[1] man die Linie von β nach α im Großen Bären um das Fünffache, so erreicht man ziemlich genau einen Stern, der, weil er der einzige hellere unter einem Heer von schwach leuchtenden ist, immer leicht aufgefunden werden kann. Unsere allgemeine Sternkarte und die genauere Circumpolarsternkarte (Tafel II) zeigen, daß er als α im Kleinen Bären bezeichnet wird; bekannter ist er unter dem Namen Polarstern (Polaris). Man erkennt bald, daß bei dem allgemeinen Umlaufe des Himmels dieser Stern fast unverrückt an seiner Stelle verharrt. Er bildet den Schluß einer Gruppe von Sternen, der man, weil sie aus einem Viereck und einem Dreieck besteht und oberflächlich an den Großen Bären erinnert, den Namen des Kleinen Bären gegeben hat. Obgleich hauptsächlich schwache Sternchen umfassend (außer α sind nur β und γ ziemlich hell), ist die Gruppe doch leicht aufzufinden; und wenn man sie an einem klaren Abende von Stunde zu Stunde nach dem Himmel abzeichnet, merkt man bald, daß sie sich beständig um den Polarstern zu drehen scheint. Dieser selbst verharrt, wie gesagt, nahezu an seiner Stelle, wie man mit Hilfe von Gebäuden oder Baumzweigen leicht feststellen kann. Genauere Beobachtungen zeigen allerdings, daß auch er an der allgemeinen Drehung teilnimmt; der wahre Angelpunkt liegt etwa $1^1/_4{}^0$ von ihm entfernt; es ist der Punkt, wo die geraden Linien auf der Karte zusammenlaufen.

Dieser Punkt, der Nordpol des Himmels, dem auf der für uns unsichtbaren Hälfte ein Südpol gegenübersteht, hat also einen festen Ort nicht nur unter den Sternen, sondern auch für den Beobachter. Er hat daher auch eine bestimmte Zenithdistanz sowie eine bestimmte Höhe, die man die Polhöhe des Ortes nennt. Diese beträgt z. B. 50^0 auf der Linie von Mainz über Frankfurt und das Fichtelgebirge nach Prag und Krakau, also im mittlern Deutschland; überhaupt ist aus einem später mitzuteilenden Grunde die Polhöhe dasselbe, was man sonst geographische Breite nennt. Davon sehen wir aber jetzt ab; denn die Gestalt der Erde kümmert uns noch nicht.

Durch die Pole des Himmels legen wir eine Linie, die Weltachse; um sie dreht sich, wie die Beobachtung zeigt, beständig die ganze Sphäre.

---

[1] Wir werden uns der sphärischen Auffassung so oft bedienen, daß es ermüdend wäre, die strengere stereometrische Fassung immer beizufügen. Hier würde sie etwa so lauten: Durch den Beobachtungsort und die Sterne β und α d. Gr. B. oder auch einfach durch die beiden Gesichtslinien nach β und α ist eine Ebene bestimmt. Trägt man in dieser Ebene an die Gesichtslinie nach α d. Gr. B. vom Beobachtungsorte aus eine Linie nach der von β abgewandten Seite unter dem fünffachen Winkel an, so macht diese nur einen kleinen Winkel mit der Gesichtslinie zum Polarstern. Man sieht hier wieder, daß es auf die wahrscheinlich sehr verschiedenen wirklichen Entfernungen der Sterne von uns und voneinander gar nicht ankommt.

Da der Radius der Sphäre als unermeßlich groß anzusehen ist, so ist es gleichgültig, an welchem Orte man die Weltachse konstruiert denkt. Alle so konstruierten Weltachsen sind ja parallel, weil sie nach demselben unendlich fernen Punkte weisen, d. h. nach einem Punkte, der so weit entfernt ist, daß wir eben mit jeder beliebigen Genauigkeit die zu ihm gehenden Linien als parallel ansehen dürfen.

Diese Umdrehung der Sphäre vollzieht sich mit größter Gleichmäßigkeit. Zu einem vollen Umlaufe werden $23^h\ 56^m\ 4^s$ — 23 Stunden 56 Minuten 4 Sekunden[1] — unserer gewöhnlichen Uhrzeit gebraucht. Um das nachzuweisen, reicht es hin, einige Sternverschwindungen zu beobachten. Man stelle sich so auf, daß man eine hohe vertikale Stange, etwa die eines Blitzableiters, in der Nord- oder Südgegend in nicht zu großer Entfernung wahrnehmen kann, oder auch eine Querstange in der Ost- oder Westgegend. Kann man ein kleines Fernrohr auf die Stange richten, dann ist es um so besser; jedenfalls aber muß der eigene Standpunkt gut gemerkt werden. Man notiere dann nach der Sekundenuhr, wann einzelne Sterne hinter der Stange verschwinden; im Norden etwa die 7 vom Großen Bären, die 5 der Kassiopeia oder einige vom Cepheus, im Osten, Süden und Westen je nach der Jahreszeit die verschiedensten. Im Osten und Westen wird natürlich das Auf- und Absteigen beobachtet, weshalb man, wie gesagt, Querlinien, etwa Telegraphendrähte[2], zu Hilfe nimmt. Man wird, wenn man am folgenden und am dritten Abend, immer etwas früher und genau von derselben Stelle aus, den Versuch wiederholt, bei jedem Stern und jeder irdischen Linie für das Verschwinden und das Wiederauftauchen immer genau dieselbe Zwischenzeit finden, auch wenn man um Mitternacht oder morgens vor der Dämmerung die Versuche anstellt. Das kann offenbar nur durch eine völlig gleichmäßige Achsendrehung des Himmels erklärt werden. In der That ist dies die regelmäßigste Bewegung, die wir kennen. Nur wenn man einen Kometen oder einen Planeten, etwa Jupiter oder Venus, beobachtet, wird man gewöhnlich eine größere oder kleinere Abweichung finden, so auch bei der Sonne und dem Monde, und außerdem merkt man bald, daß sie nicht immer dieselbe Stelle einer Stange oder Mauer kreuzen. Von diesen Himmelskörpern kann man also nicht annehmen, daß sie an der Sphäre festgeheftet seien. Sie machen deren tägliche Bewegung mit, scheinen aber auch noch eigene Bewegungen zu besitzen.

Die Neuzeit hat uns ein Mittel gegeben, die tägliche Bewegung des Himmels im Laufe weniger Minuten sehr anschaulich nachzuweisen. Man

[1] Man beachte die Abkürzung. Bogenminuten und -Sekunden werden durch ′ und ″, Zeitminuten und -Sekunden durch ^{m} und ^{s} bezeichnet.

[2] Aus naheliegenden Gründen in nicht zu weiter Entfernung von den tragenden Stangen.

richte einen gewöhnlichen photographischen Liebhaber-Apparat auf den Polarstern, was sich ganz gut durch Abnehmen vom Stativ und durch sorgfältiges Unterstützen in der schiefen Lage erreichen läßt[1]. Am besten wählt man einen sogen. Weitwinkel-Aplanaten. Hat man etwa 10 Minuten lang belichtet, so zeigen sich nach der Entwicklung auf der Platte keine punkt-



Fig. 8. Sternspuren aus der Gegend des Nordpols. (Nach einer Photographie von E. Stephani.)

förmigen Sternspuren, sondern lauter kleine Bogen von derselben Winkelgröße, die den einzigen Punkt des Bildes, nämlich den Pol, umgeben.

[1] Professor Max Wolf in Heidelberg hat dafür in den „Mitteilungen der Vereinigung von Freunden der Astronomie und kosmischen Physik" (VI. Bd.) eine sinnreiche und dabei wohlfeile Vorrichtung angegeben.

Exponiert man außerdem je einmal in der Nähe des nördlichen, südlichen, östlichen und westlichen Horizontes, so bekommt man horizontale oder schiefe Bogenstücke, die eine weitere Beschreibung überflüssig machen. Natürlich läßt sich nicht aus der Platte ersehen, ob die Sterne nach links oder rechts weitergegangen sind; daß das zweite der Fall ist, lehrt aber die direkte Beobach-

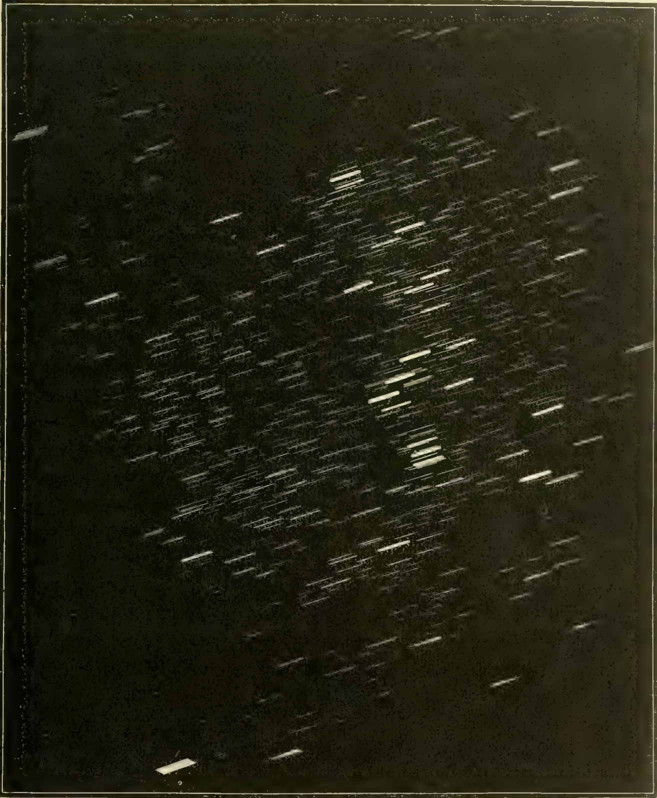


Fig. 9. Sternspuren aus der Gegend des Äquators. (Nach einer Photographie von E. Stephani.)

tung sehr bald. Die tägliche Bewegung des Himmels verläuft in unsern Gegenden für einen in der Weltachse stehenden Beobachter in der Richtung des Uhrzeigerlaufes. — Unsere Bilder 8 und 9 geben solche Aufnahmen; in Fig. 8 bemerkt man sofort den Kreislauf. Die Spuren in Fig. 9 sind nahezu gerade Linien, d. h. sie entsprechen Teilen von Hauptkreisen.

Woher rührt nun diese ganze Bewegung? Sie ist sehr rätselhaft. Da wir mit geometrischer Sicherheit erkannt haben, daß die Fixsterne nach irdischem Maße unbegreiflich weit entfernt sind, müssen wir sie auch wohl für sehr groß halten; denn die Erfahrung lehrt uns, daß ein Licht in größerer Entfernung immer schwächer leuchtet. Sollen so viele und so große Himmelskörper alle genau in derselben Zeit von nahezu einem Tage um die Erde laufen, so müssen sie durch irgend ein geheimnisvolles Band verknüpft sein; man kann dann kaum an der Vorstellung vorbeikommen, daß sie in der That an einer großen Hohlkugel befestigt seien, die durch irgend eine Ursache täglich um die Weltachse gedreht werde.

Dieser Annahme auszuweichen giebt es nur einen Weg: man muß die ganze Umdrehung des Himmels für scheinbar erklären, man muß annehmen, daß in Wahrheit unser eigenes Wohngebiet, die Erde, in $23^h\ 56^m\ 4^s$ herumgedreht werde, natürlich nun im entgegengesetzten Sinne, also gegen den Uhrzeigerlauf für einen Beobachter in unsern Gegenden. Dann wird man sofort dahin gedrängt, der Erde eine kugelähnliche Gestalt anzuweisen. Man hat nun, ohne von der Größe der Erdkugel zunächst etwas zu wissen, jedenfalls den Vorteil, annehmen zu können, daß sie viel kleiner sei als die erdachte Sphäre — ja, wie wir gesehen haben, in unermeßlichem Verhältnisse. Ferner braucht man zwischen den Himmelskörpern keine Verbindungen anzunehmen. Diese Vorteile sind so groß, daß schon im Altertum denkende Köpfe sich ihrer bewußt geworden sind. Dennoch hat es langer Kämpfe bedurft, um in der Neuzeit, nämlich dem 16. und 17. Jahrhundert, der zweiten Annahme zum Siege zu verhelfen; denn die physikalischen Bedenken gegen eine mit verhältnismäßig großer Geschwindigkeit ausgeführte Achsendrehung der Erde, wovon wir trotzdem unmittelbar nichts merken sollten, waren viel zu groß, und es bedurfte der Urteilskraft eines Galilei, um sie vollständig zu zerstreuen.

Vorläufig haben wir festzuhalten, daß, rein geometrisch betrachtet, beide Annahmen brauchbar sind.

Viertes Kapitel.

Die wichtigsten Kreise und Punkte an der Himmelskugel. — Das Zeitmaß. — Das absolute Maß des Winkels.

In der Weltachse hat uns das vorige Kapitel eine bedeutungsvolle Linie kennen gelehrt. Ihre Lage ist für jeden Ort der Erdoberfläche konstant, und die Weltachsen aller Orte sind unter sich parallel. Die Lage dieser Achse ist überall leicht zu bestimmen. Die Erfahrung zeigt, daß ihr der Polarstern nahe kommt und nur einen ganz engen Kreis um sie be-

schreibt[1]. Beobachtet man zwei Stellungen dieses Sternes, die um 11^h 58^m 2^s, die Hälfte der Umdrehungszeit, auseinanderliegen, so muß der Nordpol gerade in der Mitte zwischen diesen beiden Stellungen liegen, oder, stereometrisch geredet, die Weltachse halbiert den Winkel zwischen den beiden Gesichtslinien. Die Weltachse steht fest, nicht nur in Bezug auf die Sphäre, sondern auch auf irdische Objecte, wie Häuser und Türme. Wir kennen an jedem Orte noch eine zweite feste Richtung, die Vertikale. Eine Ebene, die man durch die Weltachse und durch die Vertikale legt, schneidet aus der Himmelskugel einen Hauptkreis aus, den man den Himmelsmeridian nennt, während die Ebene selbst als Meridianebene bezeichnet wird. Der Himmelsmeridian enthält beide Pole sowie das Zenith und das Nadir. Die Punkte, wo er den Horizont schneidet, heißen Nordpunkt — unter dem Nordpol — und Südpunkt — über dem Südpol. Diese Punkte dürfen also nicht mit den Polen verwechselt werden.

Die Meridianebene ist zur Orientierung am Himmel geeignet. Denkt man sich durch das Auge und irgend ein Objekt, eine Wolke, eine Turmspitze oder auch einen Stern, die Vertikalebene gelegt, so schneidet diese aus der Sphäre einen bestimmten Vertikalkreis oder Vertikal aus. Dieser Vertikal wird mit dem wichtigsten Vertikalkreise, dem Meridian, einen Winkel bilden, und diesen Winkel nennt man mit einem arabischen Worte Azimut. Das Azimut wird immer von Süden durch Westen, Norden und Osten nach Süden zurück gezählt, also bis 360°.

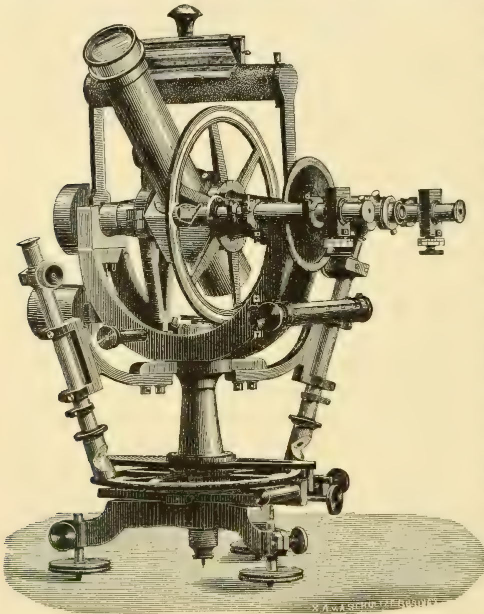
Azimut und Zenithdistanz bestimmen die Gesichtslinie nach einem Objekte unzweideutig. Sie lassen sich mit Hilfe eines Instrumentes bestimmen, das dem Feldmesser, Geodäten und Astronomen nützlich ist und Altazimut (altitudo, Höhe) oder Theodolit[2] genannt wird. Wie unsere Fig. 10 zeigt, von der wir hier absichtlich nur die wesentlichsten Teile erklären, trägt ein messingenes Gestell, das auf drei Fußschrauben ruht, zunächst einen feststehenden Horizontalkreis. Dieser Kreis ist fein geteilt, bei dem hier abgebildeten Apparate[3] von 5 zu 5′, also in 4320 Teile, die etwa je $^1/_{10}$ mm groß sind, da der ganze Kreis einen Durchmesser von 135 mm, also einen Umfang von 424 mm besitzt. Der Kreis steht, wie gesagt, fest; mittels einer Libelle läßt er sich genau horizontal stellen. Der drehbare Teil des Instrumentes enthält Mikroskope mit einer noch feinern Teilung, die auf dem Kreise gleiten und das Ablesen der Winkelsekunde gestatten. Innerhalb dieses Kreises dreht sich ein kleinerer, der eine starke Säule trägt. Auf dieser sehen wir ein Gestell mit einer horizontalen Achse

[1] Vgl. Fig. 8.

[2] Soll aus dem arabischen Wort Alhidade durch Mißverständnis entstanden sein und ist, wie Azimut, auf der letzten Silbe zu betonen.

[3] Von Karl Bamberg in Berlin

angebracht. Die Achse dreht sich in dem Gestell, und es drehen sich zwei andere, starr mit ihr verbundene Teile mit ihr: ein Fernrohr und ein Vertikalkreis von der Größe und sonstigen Einrichtung des Horizontalkreises. Angenommen, das Instrument sei so aufgestellt, daß die durch die Säulenachse und den Nullpunkt des Horizontalkreises gehende Vertikalebene die des Meridians ist und daß, wenn das Fernrohr vertikal steht [1], ein auf dem Gestell fest angebrachtes und dem Vertikalkreise zugewandtes Mikroskop auf den Nullpunkt der Teilung dieses Kreises weist. Giebt man dann dem Fernrohr die Richtung auf irgend einen Gegenstand, so lassen sich Zenithdistanz und Azimut dieses Objektes ohne weiteres ablesen. Denn das Fernrohr mitsamt dem Kreise ist nun um einen bestimmten Winkel, der sich auf dem Kreise durch das Mikroskop absehen läßt, gedreht worden. Andererseits liegen, wie man sieht, die zur Ablesung der Azimute dienenden Mikroskope immer in der Vertikalebene des Fernrohres; sie geben daher durch die Ablesung den Winkel dieser Vertikalebene mit der Nullebene, d. h. dem Meridian.


Fig. 10. Theodolit oder Universalinstrument.

Es handelt sich also um die richtige Aufstellung. Ob das Fernrohr vertikal steht, läßt sich auf mehrere Arten erkennen. Ein Fernrohr hat immer zwei Gläser oder vielmehr Systeme von Gläsern. Dem Objekte zugewandt ist das Objektiv; es entwirft in seinem Brennpunkte ein umgekehrtes Bildchen des Objektes. Durch das Okular, das wie eine Lupe wirkt,

[1] Der obere Rahmen, der eine Aufsatzlibelle trägt, läßt sich abnehmen.

erscheint dieses Bildchen vergrößert. Bringt man an der Stelle, wo das Bildchen entsteht, also im Brennpunkte des Objektivs, ein Netz von Fäden, an, wie es unsere Fig. 11 darstellt, so kann man die Mitte sehr scharf erkennen. Steht das Fernrohr vertikal mit dem Okular nach oben, und hat man unter dem Objektiv eine Schale mit Quecksilber aufgestellt, so spiegelt sich das Fadennetz in dem Quecksilber, und bei genau vertikaler Stellung müssen sich für den oben hineinschauenden Beobachter Netz und Spiegelbild decken. Bei dieser Stellung, die sich sehr genau erkennen läßt, wird man die Zahl auf dem Vertikalkreise ablesen; ist es nicht genau der Nullpunkt, so hat man die abgelesenen Zenithdistanzen alle in bestimmtem Sinne zu ändern. Der Meridian läßt sich mit Hilfe des Polarsternes leicht ermitteln, den das Fernrohr bereits vor Sonnenuntergang erkennen läßt. Auch hier hat man, wenn der Nullpunkt nicht genau im Meridian steht, einfach die abgelesenen Azimute um einen bestimmten Winkel zu vergrößern oder zu verkleinern. Bequem ist es, eine Meridianmarke zu besitzen. Fällt nämlich die Vertikalebene des Fernrohres in einem bestimmten Augenblicke genau mit der Meridianebene zusammen, wie man auf eine später zu besprechende Weise leicht mit Hilfe der Sterne feststellt, so braucht man das Rohr nur auf ein etwas entferntes irdisches Objekt zu richten und an diesem ein Kennzeichen anzubringen, z. B. an der weißen Wand eines Hauses einen vertikalen Strich, der sich mit dem mittleren vertikalen Faden des Netzes deckt. Man kann dann, wenn die Stabilität der Marke und auch des eigenen Standortes gesichert ist, von diesem aus jederzeit schnell die Meridianebene ermitteln.

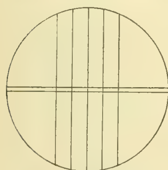


Fig. 11. Fadennetz.

Der geneigte Leser wird an der kurzen Beschreibung des Theodolits die großen Vorteile erkennen, welche die Verbindung des Mikroskops und des Fernrohres mit den Meßwerkzeugen der Himmelskunde dargeboten hat. In der ältern Zeit mußte man sich mit rohen, ohne Maschine ausgeführten Teilungen begnügen, die mit freiem Auge abgelesen wurden; statt des Fernrohres dienten sogen. Diopter, einfache runde Löcher, und ähnliche Vorrichtungen, um die Lage der Gesichtslinie zu ermitteln.

Azimut und Zenithdistanz oder Azimut und Höhe sind zusammengehörige Größen, Koordinaten, wie man in der Mathematik sagt. Das Azimut allein versetzt die Gesichtslinie in eine bestimmte vertikale Ebene

[1] Man nimmt Spinnfäden, feine Metalldrähte oder auch ein Glasscheibchen mit eingeritzten Linien. In unserer Figur sind die zwei eng zusammenliegenden Horizontalfäden parallel der horizontalen Drehungsachse des Instrumentes; die darauf senkrecht stehenden heißen Vertikalfäden. Näheres darüber giebt das Kap. 38.

oder das Objekt an einen bestimmten Vertikalkreis der Sphäre. Die Zenithdistanz allein versetzt die Gesichtslinie, wie früher (S. 9) dargestellt, auf einen bestimmten Kegelmantel, oder das Objekt auf einen bestimmten Almukantarat der Sphäre. Beide Angaben zusammen geben die Gesichtslinie unzweideutig als Durchschnittslinie der Ebene mit dem Kegelmantel, das Objekt als Durchschnittspunkt des Vertikals mit dem Almukantarat an der Sphäre. Der Vertikal ist dabei nur halb zu ziehen, vom Zenith über das Objekt zum Nadir. Die andere Hälfte hat ein um 180° größeres oder kleineres Azimut.

Wie wir den planimetrischen Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Vertikalen an der Sphäre als eine Bogenstrecke, die Zenithdistanz, wiederfinden, so hat der Flächenwinkel zwischen der Vertikalebene des Sternes und der Meridianebene an der Sphäre die Bedeutung des Winkels zwischen zwei Kreisbogen. Um das einzusehen, geben wir der Sphäre eine willkürliche Größe und ziehen nun im Zenith sowohl die Tangente an den Meridiankreis (in südlicher Richtung) als auch die an den Halbvertikal des Sternes. Die erste liegt in der Meridianebene, die zweite in der Vertikalebene des Sternes; und da außerdem beide senkrecht stehen auf der Vertikallinie, die ein Durchmesser beider Kreise und zugleich die Durchschnittskante der Ebenen ist, so ist der Winkel zwischen diesen Tangenten der Neigungs- oder Flächenwinkel der Ebenen. Nun ist ferner als der Winkel, den zwei sich schneidende Kurven bilden, der von ihren Tangenten in diesem Punkte gebildete Winkel anzusehen; der Neigungswinkel der beiden Ebenen gegeneinander ist also identisch mit dem Winkel, den die ihnen entsprechenden Hauptkreise an der Sphäre einschließen. Diese Bemerkung gilt auch für mehrere andere später zu erklärende Neigungswinkel.

Azimut und Höhe eines festen irdischen Objektes sind für uns konstant; Azimut und Höhe der Sterne ändern sich beständig infolge der täglichen Drehung. Geht ein Stern auf oder unter, so ist seine Höhe gleich 0° und seine Zenithdistanz gleich 90°. Geht er durch die Meridianebene, so ist sein Azimuth gleich 0° oder 180°, je nachdem er südlich oder nördlich vom Zenith durchgeht. Leicht ist es einzusehen, daß alle Sterne im Meridian ihre größte und auch ihre geringste Höhe erreichen. Unsere Fig. 12 zeigt das an dem Modell einer künstlichen Sphäre. Man sieht hier von dem Horizont nur die östliche Hälfte; der Meridian liegt in der Zeichenebene. Die Kugel ist so um die vom Nordpol zum Südpol gehende Achse zu drehen, daß für einen in ihrer Mitte stehenden Beobachter, der nach Süden blickt, die Sterne nach rechts, mit dem Uhrzeiger, weiter gehen. Man sieht, daß in der uns zugewandten Osthälfte des Bildes alle Sterne aufsteigen, daß sie im Meridian ihre größte Höhe erreichen und in der Westhälfte sinken. Zerlegen wir den ganzen Meridian in zwei Hälften, die

eine vom Nordpol über das Zenith und den Südpunkt des Horizontes zum Südpol, die andere von hier über das Nadir und den Nordpunkt des Horizontes zum Nordpol, so haben wir den Durchgang eines Sternes durch die erste Hälfte als obere Kulmination (culmen, der Gipfel), den Durchgang durch die zweite Hälfte als untere Kulmination zu bezeichnen. Die obere Kulmination der Sonne heißt wahrer Mittag; daher erklärt sich der Name Meridian oder Mittagskreis (circulus meridianus). Ihre untere Kulmination ist die wahre Mitternacht.

Wie die Vertikale als Achse des Koordinatensystems der Höhen und Azimute dient, so gewinnt man mit Hilfe der Weltachse zwei weitere Systeme.

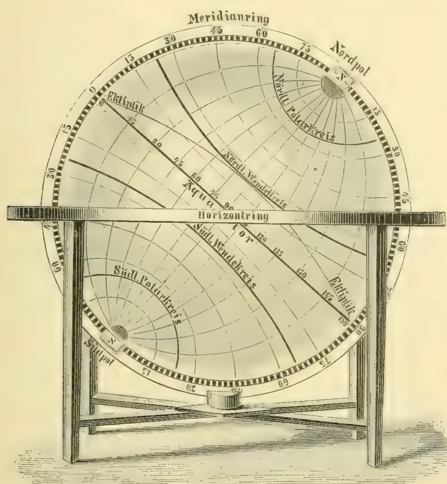


Fig. 12. Himmelsglobus.

So wie nämlich die Horizontalebene auf der vertikalen Linie senkrecht steht, so legt man senkrecht zur Weltachse durch den Beobachtungsort die Äquatorebene. Sie schneidet aus der Sphäre einen Hauptkreis, den Himmelsäquator; in unserer Zeichnung erscheint er, gleich dem Horizont, als eine gerade Linie, oder vielmehr nur seine östliche Hälfte. Legt man durch einen Stern und die Weltachse eine Ebene, die Stundenebene des Sternes, so schneidet diese die Himmelskugel in einem Hauptkreise, dem Stundenkreise oder Deklinationskreise des Sternes. Man rechnet von diesem nur die Hälfte, welche den Stern selbst enthält. Unsere Figur zeigt viele von diesen Stundenkreisen, die von Pol zu Pol gehen. Der Bogenabstand des Sternes vom Äquator, gemessen auf dem Stundenkreise, heißt Deklination des Sternes; nördliche oder südliche Deklination werden mit + und — unterschieden. Ein Stern im Himmelsäquator hat also die Deklination 0°, im Nordpol + 90°, im Südpol — 90°. Statt der Deklination kann man auch die Nordpolardistanz, von 0° bis 180°, zählen; es ist derselbe Unterschied wie zwischen Höhe und Zenithdistanz. Um eine andere Koordinate zu bekommen, mißt man den Winkel, den der Stunden-

kreis des Sternes mit dem Meridian macht. Dieser Winkel heißt Stundenwinkel und wird, wie das Azimut, von Süden über Westen, Norden und Osten nach Süden zurück bis 360° gezählt. Der geneigte Leser wolle sich auch die stereometrische Bedeutung dieser auf die Sphäre bezogenen Ausdrücke klar machen; wir wollen ihn nicht durch nochmaliges Eingehen darauf ermüden. Folgende Wahrheiten sind nun leicht einzusehen:

1. Jeder Stern erreicht in der obern Kulmination den Stundenwinkel 0° oder 360°, in der untern 180°. Der untergehende Punkt des Äquators fällt mit dem Westpunkte des Horizontes zusammen und hat den Stundenwinkel 90°. Der aufgehende Punkt des Äquators fällt mit dem Ostpunkte des Horizontes zusammen und hat den Stundenwinkel 270°.

2. Ist die Polhöhe des Ortes $= \varphi$ (in unserer Figur, die für das südlichste Deutschland gilt, 47°), so hat der kulminierende Punkt des Äquators die Höhe $90^0 - \varphi$ (in der Figur 43°). Ein Stern mit der Deklination δ kulminiert in der Höhe $90^0 - \varphi + \delta$. Hier kann δ positiv oder negativ sein, gemäß der vorhin gegebenen Erklärung. Ist $\delta = \varphi$, so wird die Kulminationshöhe $90^0 - \varphi + \delta = 90^0$, d. h. der Stern kulminiert im Zenith. Ist $-\delta = 90^0 - \varphi$ oder der sogen. Äquatorhöhe gleich, so kulminiert der Stern im Horizont, d. h. er wird überhaupt nur für einen Augenblick sichtbar im Südpunkte des Horizontes. Ist die südliche Deklination noch größer, so ist er für uns beständig unsichtbar. Ist umgekehrt seine nördliche Deklination größer als $90^0 - \varphi$, so bleibt er auch in der untern Kulmination für uns sichtbar, er ist circumpolar.

* * *

Da die Himmelskugel mit gleichförmiger Geschwindigkeit um die Weltachse rotiert, so ändert sich der Stundenwinkel eines Sternes ebenfalls proportional der Zeit, während die Deklination konstant bleibt. Aus diesem Grunde liebt man es, den Stundenwinkel gleich im Zeitmaß anzugeben. Die Umdrehungszeit der Sphäre heißt ein Sterntag; sie ist, wie wir wissen, gleich $23^h\ 56^m\ 4^s$ der gewöhnlichen Uhrzeit. Man teilt den Sterntag aber auch in $24^h = 24 \times 60^m = 24 \times 60 \times 60^s$ Sternzeit ein; dieses Zeitmaß ist also etwas kürzer als das uns geläufige. Da nun die volle Umdrehung den Stundenwinkel um 360° ändert, die halbe um 180° u. s. w., so hat man

Bogenmaß		Zeitmaß
360°	=	24^h
15°	=	1^h
1°	=	4^m
15′	=	1^m
1′	=	4^s
15″	=	1^s

Die Umrechnung von Zeitmaß auf Bogenmaß und umgekehrt hat man häufig zu machen. Bogenminuten und -Sekunden sind von Zeitminuten und -Sekunden wohl zu unterscheiden. Die Art der Umrechnung wird an einem Beispiele sofort klar werden. Man soll 293° 37′ 14″ im Zeitmaß ausdrücken:

Bogenmaß		Zeitmaß
293° 37′ 44″	=	19^h 34^m $30^s,93$
285°	=	19^h
8°	=	32^m
30′	=	2^m
7′	=	28^s
44″	=	$2^s,93.$

Für das umgekehrte Verfahren diene folgendes Beispiel:

Zeitmaß		Bogenmaß
5^h 27^m $10^s,3$	=	81° 47′ 34″,5^s
5^h	=	75°
24^m	=	6°
3^m	=	45′
8^s	=	2′
$2^s,3$	=	34″,5.

Die Division oder Multiplikation mit 15 führt man leicht im Kopfe aus, wie denn diese ganze Umrechnung überhaupt vom Geübtern schneller bewirkt wird. Gewandtheit im Kopfrechnen erleichtert das Verständnis aller astronomischen Gegenstände so wesentlich, daß ihre Aneignung jedem, der sich auch nur ein wenig mit der Himmelskunde beschäftigt, nicht dringend genug empfohlen werden kann.

* * *

Azimut und Höhe sind, wie wir wissen, für unsere irdischen Fixpunkte konstant, für die Sterne aber in beständiger Änderung begriffen. Auch Stundenwinkel und Deklination sind konstant für die feststehenden irdischen Objekte. Für die Fixsterne bleibt auch die Deklination ungeändert, während der Stundenwinkel regelmäßig der Zeit proportional wächst. Ließe sich nicht ein System ausfinden, dessen Zahlen für die Sterne ganz konstant blieben? Allerdings; man hat zu diesem Zwecke offenbar nur noch einen *Stundenkreis* notwendig, *der unter den Sternen selbst festliegt, sich mit der Sternensphäre um die Weltachse dreht* und somit als Grundlage der Zählungen dienen kann. Es fragt sich, welchen Stundenkreis man hierfür wählen soll. Theoretisch ist das vollkommen gleichgültig; denn alle durch die Weltachse gelegten Ebenen oder alle durch die Pole gehenden Hauptkreise sind durchaus gleichberechtigt. Aus praktischen Gründen wählt man den *Stundenkreis der Frühlingsnachtgleiche.*

Unter den Gestirnen nämlich, die außer dem allgemeinen täglichen Umlaufe noch besondere Bewegungen auszuführen scheinen, also ihren Ort unter den Fixsternen ändern, ist das wichtigste für uns die Sonne. Wie wir später genauer besprechen werden, scheint sie in $365\frac{1}{4}$ Tagen an der Sphäre einen Hauptkreis zu beschreiben, der schief zum Äquator gerichtet ist und Sonnenbahn oder Ekliptik[1] genannt wird. Ekliptik und Äquator schneiden sich in zwei Punkten der Sphäre, dem Frühlings- und Herbstpunkte. Der Frühlingspunkt ist derjenige von diesen beiden, durch welchen die Sonne geht, wenn sie, von der südlichen Himmelshälfte kommend, den Äquator schneidet, um auf die nördliche überzutreten, also der Punkt, in welchem ihre[2] Deklination durch null von minus zu plus übergeht; der entgegengesetzte Wechsel findet im Herbstpunkte statt. Wir nennen nun Rektascension[3] oder gerade Aufsteigung eines Sternes den Winkel, welchen der Stundenkreis des Sternes mit dem Stundenkreise des Frühlingspunktes bildet. Dabei werden selbstverständlich nur die Hälften der beiden Kreise gerechnet, welche diese Punkte, also den Stern und den Frühlingspunkt, wirklich enthalten — nicht die entgegengesetzten. Ferner wollen wir uns merken, daß die Rektascensionen nicht im Sinne der täglichen Bewegung gezählt werden, wie die Azimute und Stundenwinkel, sondern im entgegengesetzten Sinne, also von rechts nach links für einen Beobachter in Europa. In diesem Sinne wird die Rektascension in Bogenmaß oder Zeitmaß von 0^0 bis 360^0 oder 0^h bis 24^h gezählt. Die Rektascension des Frühlingspunktes ist nach dieser Erklärung gleich $0^0\ 0'\ 0''$ oder $0^h\ 0^m\ 0^s$, die des Herbstpunktes $180^0\ 0'\ 0''$ oder $12^h\ 0^m\ 0^s$.

Wenn der Frühlingspunkt in oberer Kulmination ist, sagt man, es sei $0^h\,0^m\,0^s$ Sternzeit. Dieser Moment ist in unserem Bilde (Fig. 12, S. 25) dargestellt. Auf dem Äquator, dessen östliche Hälfte uns zugewandt ist und als gerade Linie erscheint, sehen wir oben im Meridian die 0 angegeben. Dieser Punkt des Äquators ist der Frühlingspunkt. Der nächste gezeichnete Deklinationskreis ist der von 15^0 oder 1^h; dann folgt 30^0 oder 2^h u. s. w. Der Punkt des Äquators, welcher die Rektascension 90^0 (6^h) hat, geht eben auf. Der Herbstpunkt ist in unterer Kulmination und für uns unsichtbar. Man beachte noch, daß für den, welcher den Globus von außen betrachtet, die Rektascensionen nach rechts weiter gehen, also für einen Beob-

[1] Ἔκλειψις (von ἐκ und λείπω) bedeutet eine Verfinsterung der Sonne oder des Mondes (ὁ ἥλιος ἐκλείπει). Davon ἡ ἐκλειπτικὴ ὁδός, die Bahn, worin sich die Finsternisse zu ereignen pflegen. Die Ekliptik ist ungefähr auch die Bahn des Mondes und der größern Planeten.

[2] Genauer ihres Mittelpunktes.

[3] Ascensio recta oder Recta ascensio, daher durch AR oder RA abgekürzt; französisch ascension droite, englisch right ascension.

achter im Centrum der Sphäre nach links, wie auch vorhin festgesetzt wurde. Welches Bild wird die Sphäre eine Stunde später, also um 1^h Sternzeit, darbieten? Sie hat sich dann in dem früher angegebenen Sinne um ihren 24. Teil, nämlich um 15^0, gedreht; der Stundenkreis des Frühlingspunktes ist rechts (westlich) vom Meridian; im Meridian selber steht der Stundenkreis von 15^0 oder 1^h. Ebenso kulminiert 2^h, 3^h, 4^h ... Sternzeit der Stundenkreis von 2^h, 3^h, 4^h ... oder 30^0, 45^0, 60^0 ... Rektascension. Die Sternzeit der obern Kulmination eines Gestirnes wird also durch dieselbe Winkelgröße angegeben wie seine Rektascension. Man kann aber auch für jede andere Sternzeit den Stundenwinkel eines Sternes von bekannter Rektascension angeben. Beispiele: 1. Es sei 10^h Sternzeit; welchen Stundenwinkel hat ein Stern von 4^h Rektascension? Da der Stundenkreis dieses Sternes 4^h weiter nach rechts zurückliegt als der gerade kulminierende, so ist sein Stundenwinkel $10^h - 4^h = 6^h$. — 2. Welchen Stundenwinkel hat zu derselben Zeit ein Stern mit der Rektascension 16^h? Es ist $10^h - 16^h = -6^h$, das heißt, der Stundenwinkel beträgt 6^h nach Osten, also entgegengesetzt der üblichen Zählung. Einfacher ist es, den Minuendus um 24^h zu vermehren, also zu sagen $34^h - 16^h = 18^h$; dann ist der Stundenwinkel im gewöhnlichen Sinne, von S. über W., N. und O. nach S. gezählt. Allgemein ist der Stundenwinkel (ϑ) eines Sternes gleich der Sternzeit (τ), vermindert um die Rektascension (α) des Sternes. Diese Gleichung

$$\vartheta = \tau - \alpha,$$

worin natürlich entweder alles in Bogenmaß oder alles in Zeitmaß ausgedrückt sein muß, und nöthigenfalls 360^0 oder 24^h zur Sternzeit addiert werden, läßt die jeweilige Stellung eines Sternes zum Beobachter bequem ermitteln.

Wir hätten nun noch ein Instrument kennen zu lernen, wodurch man Rektascensionen und Deklinationen bestimmen kann, wollen aber die Besprechung dieses Apparates lieber einem spätern Kapitel vorbehalten. Dagegen wollen wir den beiden Winkelmaßen, die wir an der Himmelskugel anzuwenden gelernt haben, ein drittes, das absolute Maß, hinzufügen, das besonders beim Übergange von der scheinbaren zur wirklichen Größe gebraucht wird. Unter dem arcus eines Winkels versteht man das Verhältnis des zugehörigen Bogens zum Radius, welches bekanntlich von der absoluten Größe dieser beiden Linien unabhängig ist (vgl. Fig. 2, S. 7). Es ist arc $360^0 = 2\pi = 6{,}28318531$; arc $180^0 = \pi = 3{,}14159265$; arc $1^0 = \pi : 180 = 0{,}01745329$; arc $1' = \pi : 10800 = 0{,}0002909$; arc $1'' = \pi : 648000 = 0{,}00000485$. Die höhere Mathematik zeigt, daß

$$\sin\alpha = \operatorname{arc}\alpha - \frac{\operatorname{arc}^3\alpha}{1\cdot2\cdot3} + \frac{\operatorname{arc}^5\alpha}{1\cdot2\cdot3\cdot4\cdot5} - \frac{\operatorname{arc}^7\alpha}{1\cdot2\cdot3\cdot4\cdot5\cdot6\cdot7} + \cdots$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\operatorname{arc}^2 \alpha}{1 \cdot 2} + \frac{\operatorname{arc}^4 \alpha}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} - \frac{\operatorname{arc}^6 \alpha}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} + \cdots$$

Je kleiner also arc α ist, mit desto größerem Rechte darf man den sin mit dem arc vertauschen und den cos gleich der Einheit setzen, weil das jeweilige zweite Glied schon sehr klein ist und die folgenden rasch abnehmen. Es sei noch bemerkt, daß arc $1^h = 0{,}26180$, arc $1^m = 0{,}00436$, arc $1^s = 0{,}0000727$ ist.

Fünftes Kapitel.

Orientierung unter den Sternbildern.

Die Kenntnis der wichtigsten Bezeichnungssysteme ermöglicht es uns, die Sternbilder mit besserem Verständnisse kennen zu lernen, als das durch bloße Anschlüsse an bekannte Gruppen möglich wäre. Wie wir wissen, kann die Kenntnis durch den Globus oder durch die Karte vermittelt werden. Jedes von diesen Hilfsmitteln hat seine besondern Vorzüge. Der Globus ist geometrisch das beste Mittel zur Veranschaulichung; so gestattet er das mechanische Lösen einer Menge von Aufgaben, die sonst ein umständliches Rechnen erfordern. Er zeigt aber die Sterngruppen im Spiegelbilde, den Großen Bären z. B. mit nach rechts gewendetem Schweife. Die richtigste Darstellung gäbe ein großer, zur Aufnahme von Menschen geeigneter Hohlglobus, wie man ihn früher wohl konstruiert hat. Den Kosten für eine solche Vorrichtung entspricht aber der Nutzen wohl kaum; überhaupt wächst der Preis der Himmelsgloben sehr schnell mit ihrer Größe [1]. Darum sind für das Einzelstudium doch die ebenen Karten vorzuziehen. Es giebt eine Menge von Methoden, solche Karten zu entwerfen; eine der wichtigsten wollen wir hier kurz betrachten.

Es handelt sich um die Darstellung der obern Hälfte einer Kugel. Wir setzen das Auge O in den entgegengesetzten Pol; die Bildebene ist die Ebene des größten Kreises, der die beiden Halbkugeln voneinander trennt. Das Centrum der Kugel ist auch das der Zeichenebene. Nun denken wir uns O mit sämtlichen Punkten der obern Kugelfläche verbunden; wo eine solche Verbindungslinie, wie OA, OB, OP, die Bildebene schneidet, also in a, b, p, da ist das Bild des Punktes A, B oder P. Diese Abbildung heißt die stereographische; sie hat mehrere wichtige Eigenschaften, wovon sich der mathematisch gebildete Leser einige merken wolle. Es möge ADB ein kleiner Kreis der Kugelfläche sein, der also durch den Durchschnitt dieser Fläche mit einer Ebene entstanden ist. Dann ist das Bild dieses Kreises wieder ein Kreis. Es entsteht nämlich, wie kurz bemerkt werden möge [2], wenn eine durch O gehende Linie längs des Kugelkreises gleitet, ein schiefer Kegel, und dieser Kreis ist eben einer von dessen Kreisschnitten. Bekanntlich hat ein schiefer Kegel zwei Systeme von Kreisschnitten, und die unter sich parallelen Schnitte des

---

[1] Ein hübscher kleiner Globus, den Rohrbach konstruiert hat, ist durch F. Dümmlers Verlagshandlung (Berlin SW 12, Zimmerstraße 94) zum Preise von *M.* 1.50 ausschließlich Verpackung zu beziehen.

[2] Die vollständigen Beweise für die hier mitgeteilten Sätze gehören in andere Bücher als das unsere, welches einen vorwiegend beschreibenden Charakter hat.

einen Systems bilden mit der kleinsten Mantellinie denselben Winkel wie die andern mit der größten. Der Beweis beruht nun auf der leicht zu begründenden Gleichheit der Winkel OBA und Oab. Auch das Bild eines Hauptkreises wird kreisförmig. Daß für kleine Kugelkreise, deren Ebenen der Zeichenebene parallel sind, die Bilder Kreise um das Centrum werden, ist ohne weiteres klar. Zieht man ferner auf der Kugel zwei Kurven, die sich in P schneiden mögen, und legt in diesem Punkte an die Kurven die Tangenten PU und PV, welche in U und V die Zeichenebene schneiden mögen, so werden offenbar pU und pV die Bilder dieser Tangenten, und diese Bilder werden die Bilder der Kurven selbst berühren. Dann läßt sich nachweisen, daß $\sphericalangle VpU = \sphericalangle VPU$ ist, d. h. daß sich die Bildkurven unter demselben Winkel schneiden wie die abgebildeten. Und denken wir uns irgend ein Dreieck auf der Kugel, welches so klein ist, daß wir seine Seiten als gerade Linien betrachten dürfen, so ist das Bild dieses Dreiecks dem Original ähnlich wegen der Winkelgleichheit; es hat also auch dieselben Seiten-

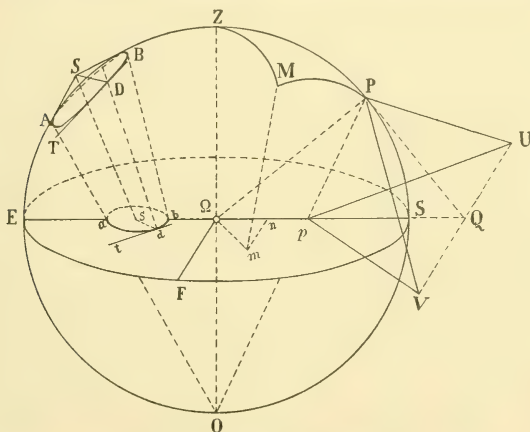


Fig. 13. Stereographischer Kartenentwurf.

verhältnisse. Bei der stereographischen Projektion sind also Original und Bild einander in den kleinsten Teilen ähnlich. Dabei ist es trotzdem klar, daß die Randgebiete verhältnismäßig zu groß werden, aber die Vergrößerung betrifft Länge und Breite jeder Figur gleichmäßig. Wenn wir insbesondere auch noch die untere Kugelhälfte mitabbilden wollen, wozu wir aus O nach allen ihren Punkten Linien zu ziehen und bis zum Durchschnitte mit der Bildebene zu verlängern haben, so bemerken wir ein immer stärkeres Anwachsen der Bilder. Der Punkt O selbst ist der einzige, der sich nicht abbilden läßt.

Nun wird uns die Entstehung unserer großen Sternkarte (Tafel III) klar. Man denke sich das Auge im Südpol S des Himmels (Fig. 12). Die Zeichenebene ist dann die des Himmelsäquators. Der Nordpol bildet das Centrum der Karte, sein Bild entspricht also dem Centrum der Fig. 13. Ein Parallelkreis des Himmels, d. h. ein Kreis, welcher alle Sterne von bestimmter Deklination umfaßt, wird offenbar durch einen Kreis abgebildet, dessen Centrum das Bild des Nordpols ist. Wir er-

halten daher ein System von koncentrischen Kreisen [1]. Eine Stundenebene, also eine durch die Weltachse gelegte Ebene, die offenbar auch den Augenpunkt enthält, wird aus der Sphäre einen Stundenkreis, aus der Bildebene eine durch das Nordpolbild gehende gerade Linie ausschneiden [2]. Die Stundenkreise erscheinen also in unserer Abbildung, der stereographischen Polarprojektion, als Radien der koncentrischen Kreise, welche die Bilder der Parallelkreise sind.

Daß die Karte nach außen hin einen immer größern Maßstab erhält, sieht man leicht, wenn man die südlichsten Parallelkreise betrachtet. Die Kreise in 10, 20, 30° südlicher Deklination sind ja in Wahrheit ebenso lang wie die entsprechenden nördlichen, müßten also in dieser Reihenfolge an Größe abnehmen; man bemerkt aber, daß sie immer größer werden. Dafür divergieren aber auch die Bilder der Deklinationskreise, obwohl die Kreise selber südlich vom Äquator wieder konvergieren. Der Maßstab, radial und tangential gemessen, nimmt gleichmäßig zu; eine Verzerrung tritt also nicht ein. Unsere Karte geht etwa bis zum 40° südlicher Deklination; wie der Globus zeigt, ist im mittlern Deutschland, nämlich in der Polhöhe von 50°, dieser Parallel der Grenzkreis: was südlicher liegt, ist für uns unsichtbar.

Das Wachstum des Maßstabes bringt es mit sich, daß die nördlichsten Sternbilder in der Darstellung etwas zu kurz kommen, während ihre wohlbekannten Gestalten unverzerrt bleiben, so gut wie die der südlichern. Leicht erkennt man dieses, wenn man etwa den Orion oder den Adler sowohl auf der Karte als auch am Himmel selbst mit dem Großen Bären vergleicht. Wir haben darum die nördlichen Circumpolarsterne für 50° Polhöhe, also innerhalb des 40. Parallels, auf einer besondern Karte (Tafel I) dargestellt, die gleichfalls in stereographischer Polarprojektion, aber mit größern Radien gezeichnet ist. — Tafel II enthält die wichtigsten Alignements (vgl. darüber S. 38) und dient zur schnellen Orientierung.

Der Rand der Karten I und III enthält die Rektascensionen in Zeitmaß und Bogenmaß, von 5 zu 5° oder von 20 zu 20^m. Man lasse sich nicht dadurch verwirren, daß sie hier von links nach rechts weiterzugehen scheinen, während wir doch (im vorigen Kapitel) angegeben haben, daß sie im entgegengesetzten Sinne verlaufen. Der Widerspruch löst sich, wenn wir bedenken, daß es (Fig. 13) die untere Seite der Bildebene ist, die wir mit den Bildern versehen müssen, um eine richtige Vorstellung zu gewinnen; nähmen wir die obere, so bekämen wir das Spiegelbild. Der irdische Beobachter steht aber (in Europa) nördlich von der Äquatorebene, sieht also die Stundenkreise in umgekehrtem Sinne aufeinander folgen.

Die Karte enthält auch die Ekliptik, deren Durchschnittspunkte mit dem Äquator der Frühlingspunkt (in den Fischen) und der Herbstpunkt (in der Jungfrau) sind. Die Änderung des Maßstabes wird hier sehr auffallend. Da die Ekliptik ein Hauptkreis ist, so ist ihre nördliche (in Fig. 12 sichtbare) Hälfte offenbar genau ebenso groß wie die südliche. Die Karte läßt aber die südliche Hälfte größer erscheinen. Noch ein anderer Hauptkreis ist nicht vollständig auf der Karte zu finden. Es ist der Hauptkreis, in dessen Nähe die gewaltige Zusammendrängung teleskopischer Sternchen stattfindet, die für unser Auge das Phänomen der Milchstraße bewirkt, womit

[1] Der Radius ρ des Parallels in der Deklination δ wird durch die Gleichung $\rho = r \tan \frac{1}{2} (90^\circ - \delta)$ bestimmt, wie man leicht aus Fig. 13 ableitet; r ist der Radius des Äquators und der Sphäre selbst. Für $\delta = -90^\circ$ wird $\rho = \infty$, wie zu erwarten war.

[2] Das widerspricht nicht dem Satze, daß das Bild eines Kreises ein Kreis ist; der Radius des Bildkreises wird hier eben unendlich groß.

wir uns später eingehender beschäftigen werden. Dieser galaktische Äquator[1] greift zum Teil in die südlichsten, für uns unsichtbaren Himmelsgebiete über.

Die Sterne erscheinen uns in sehr verschiedener Helligkeit, deren Grade man als Sterngrößen bezeichnet. Bis zur 6. Größe herab sind die Sterne einem guten Durchschnittsauge ohne künstliche Hilfsmittel sichtbar; sehr scharfe Augen, wie die von Heis, konnten noch zahlreiche zwischen der 6. und 7. Klasse einzureihende Sternchen sehen. Im allgemeinen sind Sterne, deren Helligkeit unter die 6. Größe herabgeht, nur mehr im Fernrohr sichtbar und werden darum als teleskopische Sterne bezeichnet. Ihre Zahl wächst mit abnehmender Helligkeit ins Ungeheure; nach der weitern Abstufung des Glanzes bezeichnet man sie als Sterne 7., 8. Größe u. s. w.

Die Namen der wichtigsten Sternbilder enthält folgende Tafel in lateinischer und deutscher Sprache, in jener mit Beifügung der Genetivform, deren Mitteilung dem Nichtlateiner für die Bezeichnung der einzelnen Sterne von Nutzen sein wird.

Alphabetisches Verzeichnis der Sternbilder.

Anmerkung. Die Betonung ist angegeben, wo Zweifel möglich sind; beim Genetiv da, wo eine andere Silbe als im Nominativ betont ist. — Die mit * bezeichneten Sternbilder sind für das mittlere Deutschland unsichtbar.

Andrómeda	*Andromedae*	Andromeda
Ántlia (pneumática[2])	*Antliae (pneumaticae)*	Luftpumpe*
Apus	*Apodis*	Paradiesvogel*
Aquárius	*Aquarii*	Wassermann
Aquila (et Antínous)	*Aquilae (et Antinoi)*	Adler (und Ant.)
Ara	*Arae*	Altar*
Argo (navis)	*Árgūs (n.)*	Schiff Argo
Áries	*Aríetis*	Widder
Aurīga	*Aurigae*	Fuhrmann
Boōtes[3]	*Bootis*	Bootes[3]
Caelum (scalptōrium)	*Caeli (scalptorii)*	Grabstichel*
Camelopárdalis	*Camelopardalis*	Giraffe
Cancer	*Cancri*	Krebs
Canes venātici	*Canum venaticōrum*	Jagdhunde
Canis maior	*Canis maiōris*	Großer Hund
Canis minor	*Canis minōris*	Kleiner Hund
Capricórnus	*Capricorni*	Steinbock
Cassiopeia[4]	*Cassiopeiae*	Kassiopeja[4]
Centaurus[3]	*Centauri*	Centaur
Cēpheus[5]	*Cepheī*	Cepheus[5]
Cētus	*Ceti*	Walfisch
Chamaeleon	*Chamaeleóntis*	Chamäleon*
Círcinus	*Circini*	Zirkel*
Colúmba	*Columbae*	Taube
Coma (Berenīces)	*Comae (B.)*	Haar der Berenice

[1] *Γάλα, γάλακτος* = Milch; *γαλαξίας* = Milchstraße.

[2] Apparatus chemicus, oben ausgelassen, ist identisch mit Fornax; Apparatus sculptorius mit Sculptor.

[3] Dreisilbig. [4] Fünfsilbig.

[5] Cepheus und Perseus sind im Nominativ zweisilbig, im Genetiv dreisilbig.

Corōna austrālis	*Coronae australis*	Südliche Krone*
Corōna (boreālis)	*Coronae (borealis)*	(Nördliche) Krone
Corvus	*Corvi*	Rabe
Crater	*Cratēris*	Kelch, Becher
Crux	*Crucis*	Kreuz des Südens*
Cygnus	*Cygni*	Schwan
Delphīnus	*Delphini*	Delphin
Dorādo	*Dorādūs* [1]	Goldfisch*
Dráco	*Dracōnis*	Drache
Equúleus [2]	*Equúlei*	Füllen
Erídanus	*Eridani*	Fluß Eridanus
Fórnax [3]	*Fornācis*	Chemischer Ofen*
Gémini	*Geminōrum*	Zwillinge
Grus	*Grúis*	Kranich*
Hércules	*Herculis*	Herkules
Horológium [4]	*Horologii*	Pendeluhr*
Hydra	*Hydrae*	Wasserschlange
Hydrus [5]	*Hydri*	Hyder* [5]
Indus	*Indi*	Indianer*
Lacérta	*Lacertae*	Eidechse
Leo (maior)	*Leōnis (maiōris)*	(Großer) Löwe
Leo minor	*Leōnis minōris*	Kleiner Löwe
Lepus	*Léporis*	Hase
Libra	*Lībrae*	Wage
Lupus	*Lupi*	Wolf
Lynx	*Lyncis*	Luchs
Lyra	*Lyrae*	Leier
Mensa (Mons mensae)	*(Montis) mensae*	Tafelberg*
Microscópium	*Microscopii*	Mikroskop*
Monóceros	*Monocerōtis*	Einhorn
Musca	*Muscae*	Fliege*
Norma (et Regula)	*Normae (et Regulae)*	Winkelmaß (und Lineal)*
Óctans	*Octántis*	Oktant*
Ophiūchus	*Ophiuchi*	Schlangenträger
Orīon	*Oriōnis*	Orion
Pavo	*Pavōnis*	Pfau*
Pēgasus	*Pegasi*	Pegasus
Perseus [6]	*Pérseī*	Perseus [6]
Phoenix	*Phoenicis*	Phönix*
Pictor [7]	*Pictoris*	Maler (=Staffelei)*
Pisces	*Piscium*	Fische

[1] Wird, mit Anklang an Argo, Argus, so dekliniert, obwohl es offenbar spanischen und nicht griechischen Ursprungs ist.

[2] Equuleus pictorius dagegen ist dasselbe wie Pictor.

[3] Auch Apparatus chemicus genannt.

[4] Hýades, Hyāden, Gruppe im Stier.

[5] Auch im Deutschen mascul.

[6] Siehe Note 5, S. 33.

[7] Auch Equuleus pictorius genannt.

Piscis austrīnus[1]	*Piscis austrini*	Südlicher Fisch
Retículum	*Reticuli*	Rhombisches Netz*
Sagítta	*Sagittae*	Pfeil
Sagittārius	*Sagittarii*	Schütz
Scórpius	*Scorpii*	Skorpion
Scúlptor[2]	*Sculptōris*	Bildhauer (=Werkstatt)*
Scutum (Sobiēsii)	*Scuti (Sobiesii)*	Schild des Sobieski
Sérpens[3]	*Serpéntis*	Schlange
Séxtans	*Sextántis*	Sextant
Taurus	*Tauri*	Stier
Telescópium	*Telescopii*	Fernrohr*
Triángulum austrāle	*Trianguli australis*	Südliches Dreieck*
Triángulum (boreale)	*Trianguli (borealis)*	(Nördliches) Dreieck
Tucāna	*Tucanae*	Tukan*
Ursa maior	*Ursae maiōris*	Großer Bär
Ursa minor	*Ursae minōris*	Kleiner Bär
Virgo	*Virginis*	Jungfrau
Vólans[4]	*Volántis*	Fliegender Fisch*
Vulpecula (cum ansere)	*Vulpeculae (c. a.)*	Fuchs (und Gans).

Jedes dieser Sternbilder enthält eine große Anzahl von einzelnen Sternen. Einzelne Gruppen sind freilich so arm an helleren Sternen, daß sie dem gewöhnlichen Beobachter kaum bekannt sind, so Camelopárdalis und Lynx. Unsere Hauptkarte geht nur bis zur 4. Größe herab, und die besondere Karte der Circumpolarsterne bis zur 5. Größe; auf diesen Karten erscheinen solche Gruppen noch ärmer. Der griechische Astronom Ptolemäus zählt nur 48 Sternbilder auf; ihre lateinischen Namen sind in unserer Tabelle gesperrt. Alle andern sind spätern Ursprungs. Von diesen hat man eine große Anzahl nachher wieder abgeschafft, namentlich solche, die ohne Not, nur im Interesse menschlicher Eitelkeit, auf Kosten der ältern gebildet worden waren, wie den Luftballon, die Elektrisiermaschine, Lalandes Katze, Friedrichs Ehren. Es versteht sich, daß die Vervollständigung nach Süden eine Notwendigkeit war, da ja das alexandrinische Altertum den südlichsten Teil nicht hatte beobachten können. Ob man bei dieser Vervollständigung immer mit Geschmack zu Werke gegangen ist, bleibe dahingestellt.

Die Sternbilder gewähren der Wissenschaft den großen Nutzen, daß sie die Übersicht und die Orientierung ganz wesentlich erleichtern und dabei auch die Möglichkeit bieten, wenigstens allen hellern oder durch ihren Lichtwechsel merkwürdigen Sternen kurze, leicht im Gedächtnis haftende Namen zu geben. Dabei erhalten sie das Interesse weiterer Kreise am gestirnten Himmel beständig rege und führen dadurch der Wissenschaft auch manches Material zu, das ihr sonst verloren ginge. Der Einwand, daß die Sternbilder den dargestellten Dingen nicht ähnlich seien, ist dem gegenüber ziemlich thöricht und müßig zu nennen. Wer behauptet denn im Ernste eine solche Ähnlichkeit? Es genügt, daß auffallende, charakteristische Gruppen zusammengefaßt werden. Sollte jemals ein pedantisches Zeitalter die Abschaffung der Sternbilder im angeblichen Interesse der Wissenschaft versuchen, wozu aber nicht die geringste Aussicht da ist, so würden sie vom Volke, und wäre es durch

[1] Piscis volans = Volans; Plēiades, Plejāden, Gruppe im Stier; Praesēpe oder Praesēpium, Krippe, Sternhaufen im Krebs.

[2] Auch Apparatus sculptorius. [3] Serpentarius = Ophiuchus.

[4] Siehe oben Note 1.

Überkultur dem Himmel noch so sehr entfremdet, baldigst wieder eingeführt werden. Gingen alle Schätze der Bildung durch eine neue große Wasserflut verloren, so daß das neue Geschlecht mit allem von vorn wieder anfangen müßte, so würden ja wohl einige weit ausgedehnte Sternbilder, wie Herkules oder die verzwickte Figur des Schlangenträgers mit der Schlange, endgültig vergessen sein; Gruppen aber, wie die Leier oder der Schwan, Kassiopeia oder das Kreuz des Südens, würden unter irgendwelchen Namen weiterleben, ja man würde wahrscheinlich aus unserem Großen Bären wieder ein Tier und vielleicht aus dem Orion wieder einen gewappneten Helden machen — solange wenigstens keine allzu großen Verschiebungen am Himmel eingetreten wären[1].

Wollte man in alter Zeit einen einzelnen Fixstern bezeichnen, so ging das nicht ohne einige Umstände. Man mußte etwa dessen Lage in einem bestimmten Fuße des Bären oder am Halse des Schwanes oder Walfisches, am Kopfe der Schlange u. s. w. beschreiben. Waren in der bezeichneten Gegend noch Verwechslungen möglich, so mußte man ihn als hellsten oder zweithellsten u. dgl. angeben. Eine etwaige spätere Veränderung der Lichtverhältnisse — und wir werden sehr bedeutende Änderungen dieser Art kennen lernen — konnte dann die Sache verwirren. Zudem bedurfte man eines Atlas, der nicht nur die Sterne, sondern auch die Figuren enthielt; und wer einen solchen Atlas zeichnete, mußte sich vor Künstlerlaunen hüten, da eine andere Auffassung derselben Tiergestalt die Bezeichnungen verwirren mußte. Bei all ihrem nicht zu verkennenden poetischen Reiz brachten die beigezeichneten Figuren den ebenfalls unleugbaren Nachteil, daß die Karten verteuert und dabei unübersichtlich waren. Es war daher gewiß ein verständiges Unternehmen von Johannes Bayer im Jahre 1603[2]), eine neue Bezeichnung einzuführen, die von den Körperteilen der Figuren nicht abhing. Hiernach werden die hellern Sterne jeder Gruppe mit den kleinen griechischen Buchstaben versehen; der hellste heißt gewöhnlich α, dann wird nicht gerade so fortgefahren, daß β, γ, δ ... eine absteigende Reihe der Helligkeit darstellten, sondern daß nur ungefähr die höchsten Buchstaben die hellsten Sterne angeben; die Reihenfolge in den charakteristischen Linien der Gruppe, auch wohl die Reihenfolge der Rektascensionen, macht sich dabei ebenfalls bemerkbar. Um sich davon zu überzeugen, genügt ein Blick auf den Großen Bären, die Kassiopeia, den Perseus, Orion u. s. w. Es heißt dann der einzelne Stern etwa „α Ursae maioris", d. h. α im Großen Bären oder α des Großen Bären; ähnlich α und β Lyrae, ϑ Serpentis u. s. w. Obwohl den meisten Lesern die griechischen Buchstaben bekannt sein werden, wollen wir ihre Zeichen doch noch der Vollständigkeit wegen hier zusammenstellen.

Zeichen	Gesprochener Laut	Name	Zeichen	Gesprochener Laut	Name	Zeichen	Gesprochener Laut	Name
α	a	Alpha	ι	i	Jōta	ρ	r	Rho
β	b	Bēta	$\varkappa$	k	Kappa	σ ς	s ß	Sigma
γ	g	Gamma	λ	l	Lambda	τ	t	Tau
δ	d	Delta	μ	m	My	υ	y	Ypsīlon
ε	ĕ (kurz)	Epsīlon	ν	n	Ny	φ	f (= ph)	Phi
ζ	ds (= z)	Zēta	ξ	ks (= x)	Ksi	χ	ch, kh	Chi
η	ē (lang)	Eta	o	ŏ (kurz)	Omīkron	ψ	ps	Psi
ϑ	th	Thēta	π	p	Pi	ω	ō (lang)	Omĕga

[1] Es wird sich später ergeben, daß auch in den gegenseitigen Stellungen der Fixsterne die Beständigkeit nicht als absolut gelten darf, daß langsame Bewegungen stattfinden, die am Ende, nach vielen Zehntausenden von Jahren, selbst die geschlossensten Gruppen zur Unkenntlichkeit entstellen müssen. Vgl. Kap. 33.

[2] In der Uranometria.

Hat man in sternreichen Gegenden das griechische Alphabet erschöpft, so braucht man das kleine lateinische zur Aushilfe. Der Engländer Flamsteed ordnete innerhalb der einzelnen Sternbilder die hellern Sterne nach der Rektascension und bezeichnete sie mit Nummern, die auch jetzt noch vielfach da gebraucht werden, wo man mit Bayers Buchstaben nicht auskommt; z. B. „9 Fl. Cephei", d. h. der von Flamsteed mit 9 bezeichnete Stern im Cepheus. Endlich werden die veränderlichen Sterne nach Argelanders Vorgange mit den letzten Buchstaben des großen lateinischen Alphabets, von R an, bezeichnet, soweit sie noch keine Bayerschen Bezeichnungen haben [1], und für das große Heer der schwachen Sterne sieht man von den Sternbildern ab und bezeichnet sie mit der Nummer, die sie in einem der großen, nach Rektascensionen geordneten Sternverzeichnisse haben, z. B. „1830 Gr.", d. h. der 1830. Stern in dem Kataloge von Groombridge.

Einzelne besonders helle Sterne haben ihre eigenen Namen. So Sirius = α Canis maioris, Pollux = β Geminorum. Soweit diese Namen nicht, wie die angeführten, aus vorchristlicher Zeit stammen oder, wie Cor Cároli [2], auf nationale Eitelkeit zurückzuführen sind, kommen sie aus dem Arabischen. Mit Recht sind diese Namen, vielfach auch nur Umschreibungen nach den Teilen der Sternbilder, allmählich in Vergessenheit geraten; früher überlud man, wie Fig. 4 und 5 zeigen, mit ihnen die Karten. Nur wenige Einzelnamen für Sterne und für kleinere Sterngruppen werden noch allgemein anerkannt. Folgende Übersicht [3] giebt sie an:

Namen einzelner Fixsterne und Sterngruppen.

Achérnar	α Eridani	Capélla	α Aurigae
Aldebarān	α Tauri	Castor	α Geminorum
Algol	β Persei	Celäno	in den Plejaden
Alkor [4]	g Ursae maioris	Cor Cároli	in den Jagdhunden
Alkyone	vgl. Plejaden	Deneb	α Cygni
Antāres	α Scorpii	Denebola	β Leonis
Arktūrus	α Bootis	Elektra	in den Plejaden
Átair (Altair)	α Aquilae	Ettanin	γ Draconis
Atlas	in den Plejaden	Fomalhaut	α Piscis austrini
Bellātrix	γ Orionis	Gemma	α Coronae
Beteigeuze	α Orionis	Hädi [6]	ζ und η Aurigae
Canícula [5]	= Sirius	Hyāden [7]	Gruppe bei α Tauri
Canōpus	α Argus	Jakobsstab	δ, ε, ζ Orionis

[1] Vgl. Kap. 35 und 36.

[2] Herz König Karls II. von England, mit 12 Fl. Canum venaticorum identisch; auf unserer Hauptkarte etwas südlich vom Schwanze des Großen Bären zu finden. — Vgl. auch Fig. 5.

[3] Nach dem Verzeichnisse, das der Verfasser dieses Buches in der vierten, von ihm besorgten Auflage der „Mathematischen Geographie" von A. Hoffmann gegeben hat.

[4] 5. Größe, sehr nahe bei ζ Ursae mai.; unter dem Namen des Reiterchens bekannt. Schon einem mittelguten Auge gelingt die Trennung dieser Sterne (Abstand 11'). Viel schwerer sind die beiden Sterne zu trennen, aus denen ε Lyrae (4. Größe, nordöstlich von α Lyrae) besteht. Auch α Capricorni zerlegt sich für ein besseres Auge in zwei Sterne.

[5] *Horat.*, Od. III, 13, v. 9—10.

[6] Die Böcklein; Capella, die Ziege.

[7] Gestalt dem V ähnlich; Hyaden = Regengestirn.

Krippe [1]	ε Cancri	Pollux	β Geminorum
Maja	in den Plejaden	Prókyon	α Canis minoris
Medusenhaupt	β, ρ, ω Persei	Régulus	α Leonis
Mérope	Plejaden	Rigel	β Orionis
Mira [2]	o Ceti	Sīrius	α Canis maioris
Mizar	ζ Ursae maioris	Spīca	α Virginis
Pleione	in den Plejaden	Taÿgeta	in den Plejaden
Plejāden [3]	Gruppe bei η Tauri	Vindemiātrix	ε Virginis
Polarstern, Polaris	α Ursae minoris	Wega	α Lyrae.

Ist man am Himmel überhaupt erst orientiert, so ist es leicht, jeden hellern Stern auf der Karte wiederzufinden. Die sehr verbreiteten drehbaren Sternkarten, ein vorzüglicher Ersatz für den Globus, erleichtern das Zurechtfinden. Wir werden später erfahren, wie man sich zur jeder Stunde des Jahres die Sternzeit und damit die Lage der Sphäre zum Horizonte berechnen kann. Gegenwärtig verweisen wir auf die einfache Methode der Verlängerungen oder Alignements. Wie man durch β und α Ursae mai. den Polarstern α Ursae min. findet, so kann man am Ende jeden Stern auf bekannte Gruppen zurückführen. So weist der Schweif des Großen Bären auf Bootes, eine Linie vom Polarstern über ε Ursae mai. geht verlängert auf Cor Caroli; die Senkrechte auf $\zeta\eta$ Ursae mai., in η nach Norden errichtet, weist in großer Entfernung auf α Lyrae u. s. w. Um sich jedoch vor Enttäuschungen zu bewahren, merke man noch folgendes:

1. Die Sterne, deren Zeichen auf unsern Karten I und III in Kreise eingeschlossen sind, haben veränderliche Lichtstärke, und das Zeichen im Kreise giebt jedesmal die größte Helligkeit an, die sie erfahrungsgemäß erreichen können; manchmal sind sie schwächer, einige fast immer. Bei einzelnen Sternen sind die Helligkeitsschwankungen so gering, daß sie die Orientierung kaum erschweren können, so bei den weißen Sternen β Lyrae, δ Cephei, η Aquilae und bei den roten μ Cephei, β Pegasi, α Orionis, α Tauri, α Cassiopeiae. Andere Sterne, wie Algol (β Persei) und λ Tauri, sind zuweilen für einige Stunden merklich geschwächt und entsprechen dann nicht der Karte. An Mira (o Ceti) endlich haben wir einen Stern, der meistens sehr schwach, oft monatelang für das freie Auge ganz unsichtbar ist und nur zeitweilig auf einige Wochen heller wird.

2. Noch mehr wird der Anblick des Himmels durch die Planeten geändert. Doch hat man den Vorteil, diese nur in der Gegend der Ekliptik zu finden. Dabei ist Merkur troß seiner großen Helligkeit doch nur für den Geübtern unter günstigen Umständen zu sehen, und zwar nur in der Morgen- oder Abenddämmerung; Venus ist im mittlern Deutschland niemals um Mitternacht zu sehen; sie geht wenige Stunden

[1] Man trifft diesen schönen Sternhaufen, wenn man die von ϑ nach β Geminorum gezogene Strecke etwa um sich selbst verlängert. Die Gruppe heißt lat. Praesepe, die beiden (in Rektasc.) gleich nachfolgenden Sternchen γ und δ (4. Größe) heißen Asellus borealis und Asellus australis wegen ihrer Lage zu ε.

[2] Der Wunderstern, wegen seines auffallenden Lichtwechsels. Vgl. Kap. 36.

[3] Der Name soll Schiffergestirn bedeuten, nach anderer Angabe auf die Sternfülle hinweisen. Das freie Auge sieht 6—11 Sterne in dieser Gruppe (Quae septem dici, sex tamen esse solent, *Ovid.* „Siebengestirn".) Ein Fernrohr von 12 cm Objektivöffnung zeigt etwa 230 Sterne in demselben Raume. Die bekanntesten Einzelnamen in dieser Gruppe sind oben angeführt. Vgl. auch Kap. 34.

vor der Sonne auf oder nach ihr unter; sieht man sie, dann ist sie gewöhnlich der hellste Stern am Himmel. Sie kann bei der Mondsichel, aber nicht bei den Vierteln und erst recht nicht beim Vollmonde stehen. Sie ist glänzend weiß. — Mars, ein auffallend roter Stern, von sehr veränderlicher Helligkeit, wird an seiner Farbe am besten erkannt und ist kaum mit einem Fixsterne der Ekliptikalgegend zu verwechseln; ebensowenig der sehr helle Jupiter, nach Venus der hellste Stern überhaupt, und der ziemlich helle bleigraue Saturn. Es ist leicht, nach und nach die Fixsterne und die Planeten kennen zu lernen; man muß eben nur festhalten, daß die Planeten ihren Ort beständig wechseln, weshalb sie auch nicht auf die Sternkarte gesetzt werden können.

3. Die Milchstraße, deren Hauptrichtung, der galaktische Äquator, auf unserer Karte dargestellt ist, erleichtert die Orientierung.

4. Es ist nützlich, sich mit den Sternen selbst einzelne wichtige Punkte und Kreise zu merken; man gelangt dann allmählich zu einer angenäherten Schätzung der Sternzeit. Nachstehend einige Beispiele.

a) Vom Polarstern nach β Cassiopeiae, dem letzten Ecksterne rechts in dem Buchstaben W, dessen Gestalt sie nachahmt, ziehen wir eine Linie, die, um denselben Betrag verlängert, α Andromedae trifft. Verlängern wir nochmals diesen Betrag, so kommen wir auf den ziemlich einsamen, durch keinen hellen Nachbarstern ausgezeichneten Frühlingspunkt. Da wir in Deutschland den Polarstern und β Cassiopeiae immer über dem Horizonte haben, so genügt ein Blick auf diese beiden, um die Lage des Frühlingspunktes zu ermitteln. Liegt er auch unter dem Horizonte, so können wir doch aus der Lage seines Deklinationskreises den Stundenwinkel des Frühlingspunktes, d. h. die Sternzeit, ermitteln.

b) Frühlings- und Herbstpunkt können nicht gleichzeitig über dem Horizonte stehen. Den Herbstpunkt bekommt man, wenn man eine von Polaris nach einem Punkte mitten zwischen γ und δ Ursae maioris gezogene Linie nicht ganz um ihren doppelten Betrag verlängert; oder wenn man die Linie zwischen α Leonis und α Virginis derart teilt, daß $^2/_5$ nach α Virginis fallen. Der Deklinationskreis von Frühlings- und Herbstpunkt heißt auch der Kolur[1] der Nachtgleichen oder Äquinoktien. Senkrecht auf ihnen steht der Kolur der Sonnenwenden oder Solstitien, d. h. der Deklinationskreis, welcher den nördlichsten und den südlichsten Punkt der Ekliptik enthält. Die Sterne ϑ und β Aurigae sowie γ Draconis liegen ungefähr auf diesem Kreise. Der nördlichste Punkt der Ekliptik wird ziemlich gut durch den leicht auffindbaren veränderlichen Stern η Geminorum angegeben.

5. Fällt die Richtung nach einem Stern mit einer irdischen Richtung zusammen, z. B. mit der eines Fernrohres oder auch mit der Gesichtslinie nach einer Turmspitze, so kann man voraussagen, welche Sterne später in derselben Richtung stehen werden. Denn für die irdische Richtung ist die Deklination δ konstant; es werden also mit der Zeit alle Sterne mit dieser Deklination in der angegebenen Richtung stehen. Die Richtung z. B., worin wir jetzt den Arkturus (α Bootis) sehen, wird nach $2^h\ 6^m$ ungefähr die von γ Herculis sein, da die Deklinationen dieser Sterne nahezu gleich und die Rektascensionen um $2^h\ 6^m$ verschieden sind. Auf diese Weise kann man, wenn genauere Karten vorliegen, das Fernrohr aber keine Aufsuchungskreise besitzt, auch solche schwachen Sterne, für die sich kein gutes Alignement aussuchen läßt, leicht mit Hilfe anderer Sterne von gleicher Deklination auffinden.

---

[1] Angeblich „Schwanzverstümmler“, von κόλος und οὐρά, und zwar, weil der Äquinoktial-Kolur dem Großen Bären, der Solstitial-Kolur dem Kleinen Bären den Schwanz abschneidet. Die zweite Silbe zu betonen.

Eine gute und vollständige Kenntnis des Fixsternhimmels ist eine wichtige Vorbedingung für ein erfolgreiches Studium aller Himmelserscheinungen. Bei gehörigem Fleiße bringt man es leicht dahin, wenigstens alle Sterne erster Größe nicht nur unter günstigen Umständen, sondern auch bei Dämmerung, Mondschein oder teilweise bedecktem Himmel ohne lange Überlegung bestimmen zu können. Man erleichtert sich dadurch auch die Orientierung auf der Erde, und besonders nützlich ist es, daß man in den Stand gesetzt ist, auch bei ungünstigen Luftverhältnissen etwa über den Verlauf von Sternschnuppen und Feuerkugeln brauchbare Notizen zu machen.

Sechstes Kapitel.

Das astronomische Dreieck. — Aufgangs- und Untergangszeit, Morgen- und Abendweite. — Geschwindigkeit der Höhenänderung. — Erster Vertikal. — Stationäres Azimut.

Einer bestimmten Stellung des Himmelsglobus entspricht bei jedem Stern je ein bestimmter Wert für Azimut, Höhe und Stundenwinkel, für die ganze Sphäre eine bestimmte Sternzeit. Für den einzelnen Stern werden die drei ersten Größen nicht nur durch die Sternzeit, sondern auch durch seine Rektascension und Deklination bestimmt. Hieraus geht hervor, daß alle diese Größen in bestimmten mathematischen Beziehungen zu einander stehen müssen.

Höhe und Deklination sind, wie wir wissen, Winkel im gewöhnlichen planimetrischen Sinne, zu deren Darstellung uns Bogenstücke an der gedachten Sphäre dienen. Rektascension, Stundenwinkel und Sternzeit sind Flächenwinkel, zu deren Messung uns Bogenwinkel an der Sphäre dienen.

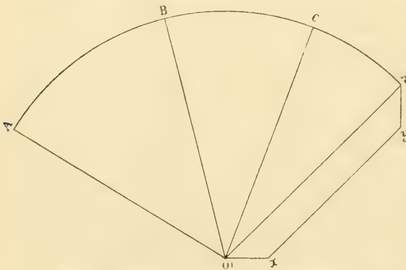


Fig. 14. Anfertigung eines körperlichen Dreiecks.

Die Wissenschaft, welche die mathematischen Beziehungen solcher Größen betrachtet, wird **sphärische Trigonometrie** genannt, und in besonderer Beziehung auf die Himmelskugel, **sphärische Astronomie**. Für diejenigen unter unsern Lesern, welche ein wenig tiefer in die Sache eindringen wollen, sind die Ausführungen dieses Kapitels bestimmt.

Man schneide (Fig. 14) aus starkem Papier den Kreissektor OABCA mit dem Ansatzstücke OAXY, knicke die Linien OB und OC und die Begrenzung OA des Ansatzstückes und leime dieses so unter den Sektor OAB, daß die beiden Linien OA zusammenfallen. Dann hat man ein sphärisches Dreieck ABC hergestellt, dessen Seiten, die Bogenstücke a = BC, b = CA,

c = AB, den planimetrischen Winkeln BOC, COA, AOB dem Maße nach gleich sind, während die Winkel α = BAC, β = CBA, γ = ACB mit den Flächenwinkeln an den Kanten OA, OB, OC übereinstimmen.

Für ein solches Dreieck gelten folgende Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned}\cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos \alpha \\ \cos b &= \cos c \cos a + \sin c \sin a \cos \beta \\ \cos c &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos \gamma\end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned}\sin c \sin \beta &= \sin b \sin \gamma \\ \sin a \sin \gamma &= \sin c \sin \alpha \\ \sin b \sin \alpha &= \sin a \sin \beta\end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

$$\left.\begin{aligned}\sin a \cos \beta &= \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos \alpha \\ \sin b \cos \gamma &= \cos c \sin a - \sin c \cos a \cos \beta \\ \sin c \cos \alpha &= \cos a \sin b - \sin a \cos b \cos \gamma\end{aligned}\right\} \quad . \quad (3)$$

In jeder von diesen drei Gruppen werden die zweite und dritte Gleichung aus der ersten einfach dadurch abgeleitet, daß beständig a durch b, b durch c, c durch a ersetzt wird und α durch β, β durch γ, γ durch α. Man nennt eine solche Versetzung eine cyklische Vertauschung; sie kann in jeder Formel für das ebene oder sphärische Dreieck vorgenommen werden, solange nicht die Formel aus ganz bestimmten Annahmen über die Größen der einzelnen Stücke hervorgegangen ist (z. B. a = 90°). Die nachstehend mitgeteilten Napierschen Analogien sind der Raumersparnis wegen nur auf eine Art angesetzt, da der Leser leicht die andern Formeln cyklisch daraus ableiten wird.

$$\left.\begin{aligned}\tan \frac{\alpha + \beta}{2} &= \frac{\cos \frac{a - b}{2}}{\cos \frac{a + b}{2}} \cdot \operatorname{cotan} \frac{\gamma}{2} \\ \tan \frac{\alpha - \beta}{2} &= \frac{\sin \frac{a - b}{2}}{\sin \frac{a + b}{2}} \cdot \operatorname{cotan} \frac{\gamma}{2}\end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$\left.\begin{aligned}\tan \frac{a + b}{2} &= \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}} \cdot \tan \frac{c}{2} \\ \tan \frac{a - b}{2} &= \frac{\sin \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} \cdot \tan \frac{c}{2}\end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Ebenso bei den nachstehenden Formeln, wodurch ein Winkel aus drei Seiten oder eine Seite aus drei Winkeln abgeleitet wird. Es ist hier der Kürze halber $\frac{a + b + c}{2} = s$ und $\frac{\alpha + \beta + \gamma}{2} = \sigma$ gesetzt worden, dann

$$\sqrt{\frac{\sin(s-a)\cdot\sin(s-b)\cdot\sin(s-c)}{\sin s}} = \text{i und}$$

$$\sqrt{\frac{-\cos(\sigma-\alpha)\cdot\cos(\sigma-\beta)\cdot\cos(\sigma-\gamma)}{\cos\sigma}} = k.$$

Es ist: $\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{i}{\sin(s-a)}$; $\tan\frac{a}{2} = \frac{\cos(\sigma-\alpha)}{k}$. . . (6)

Die Formeln (4) und (5) zeigen untereinander noch eine gewisse Beziehung, die auch an den beiden Formeln (6) hervortritt und auf dem Gesetze der Dualität oder Reciprocität zwischen Seiten und Winkeln beruht.

Werden die Größen a, b und c unendlich klein, so wird sin a = a, cos a = 1, tan a = a u. s. w., sowie $\alpha + \beta + \gamma = 180^0$. Die Formeln gehen dann in die der ebenen Trigonometrie über; nur die Formel (1) ergiebt einfach die Identität 1 = 1, da das zweite Glied rechts unendlich klein wird. Aus (2) wird der Sinussatz, aus (3) der Projektionssatz, aus (4) durch Division der beiden Formeln der Tangentensatz, ebenso aus den beiden Formeln (5). Die erste Formel (6) geht in die einfachere über, die man für das ebene Dreieck aus der Heronischen mit Zuziehung des einbeschriebenen Kreises ableitet.

Die Beweise für die Formeln hat man in mathematischen Lehrbüchern zu suchen[1]. Für uns kommt es hier auf deren astronomischen Gebrauch an. Dafür sind zwei wichtige Dinge zu beachten:

1. Die Formeln gelten uneingeschränkt für noch so große oder kleine Seiten und Winkel. Man darf also, wie es in der Himmelskunde geschieht, die Winkel, etwa Azimut und Stundenwinkel, bis 360^0 durchzählen.

2. Das eigentliche sphärische Dreieck läßt sich nur auf einer wirklichen Kugel konstruieren. Unser Modell zeigt aber deutlich, daß dieses Dreieck eben nur ein Hilfsmittel der Anschauung ist. Was wir in Wahrheit messen und berechnen, sind keine Bogen an der Sphäre, sondern die ihnen gleichen Winkel zwischen den Richtungslinien, und keine Winkel an der Sphäre, sondern Winkel zwischen den durch den Beobachtungsort gelegten Ebenen. Die Rechnungsergebnisse werden daher auch dann gültig bleiben, wenn wir später von drei Sternen erfahren sollten, daß sie gar nicht gleichweit von uns entfernt sind[2]; und sie gelten auch, wenn wir lediglich gedachte

[1] K. Schwering, Stereometrie für höhere Lehranstalten. Freiburg, Herder. Focke u. Kraß, Lehrbuch der ebenen Trigonometrie nebst den Grundzügen der sphärischen Trigonometrie. Münster, Coppenrath. Bork, Mathematische Hauptsätze für Gymnasien. II. Leipzig, Dürr. Während die genannten drei Werke schnell zum Ziele führen, befleißigt sich das ältere Buch von Heis u. Eschweiler (Ebene und sphärische Trigonometrie. Köln, Du Mont-Schauberg) einer großen Vollständigkeit.

[2] Wenn man unser Modell z. B. so beschneidet, daß die Gestalt einer Ladendüte herauskommt, dann bleiben, solange nur die drei Flächen eben sind, alle Sätze für Kanten- und Neigungswinkel bestehen; es fehlt aber das sphärische Bild.

Punkte, wie das Zenith und den Pol, mitbenutzen, weil den Richtungslinien nach diesen Punkten eine wirkliche Bedeutung zukommt.

Das wichtigste Dreieck ist das vorzüglich so genannte astronomische Dreieck zwischen dem Zenith, dem Nordpol und irgend einem Sterne. Unsere Figur 15 stellt es in einfacher Weise dar. Der Horizont erscheint durch die Perspektive als Ellipse; Z ist das Zenith, P der Nordpol, $\sphericalangle\, \varphi$ ist die Polhöhe und darum PZ, als Bogen gerechnet, gleich $90^0 - \varphi$. Ebenso ist die Zenithdistanz ZS des Sternes S gleich $90^0 - h$, wenn h die Höhe bedeutet, und seine Poldistanz PS gleich $90^0 - \delta$, wenn δ die Deklination ist. Da ZS der Vertikal des Sternes ist und PZR der Meridian, so ist $\sphericalangle$ SZR das Azimut A, also PZS $= 180^0 - A$; $\sphericalangle$ ZPS $= t$ ist der Stundenwinkel, und der am Stern gebildete Winkel s zwischen dem Deklinations- und dem Vertikalkreise heißt der parallaktische Winkel[1].

Fig. 15. Das astronomische Dreieck.

In diesem Dreiecke sind also alle drei Seiten Komplemente, ein Winkel (A) ein Supplement. Die Formeln ändern sich dadurch in der Anwendung ein wenig. Formel (1) giebt z. B.

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Setzt man in dieser Formel $h = 0$, also auch $\sin h = 0$, bringt das zweite Glied von rechts nach links und befreit es von seinem Faktor, so wird

$$\cos t_0 = - \tan \varphi \tan \delta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Wir sagen t_0 statt t, um anzudeuten, daß es sich jetzt um einen ganz bestimmten Stundenwinkel handelt, um den Winkel t, für welchen $h = 0$ ist, d. h. um den Stundenwinkel beim Auf- oder Untergange. Diesen kann man aus (8) berechnen. Wird z. B. gefragt, wie lange für Karlsruhe der Sirius über dem Horizonte verweilt, so hat man $\varphi = + 49^0\, 0'$[2] und $\delta = - 16^0\, 34'$[3]; das erste Vorzeichen, weil Karls-

[1] Von παραλλάσσω, verändere, woraus ἡ παράλλαξις, die Veränderung, und das Adjektiv παραλλακτικός.

[2] Hier als gegeben vorausgesetzt. Wir werden, wie früher schon gesagt, nachweisen, daß die Polhöhe mit der geographischen Breite identisch ist. Die Deklination des Sternes wird gleichfalls für gegeben angesehen; daß sie ungefähr richtig ist, zeigt ein Blick auf die Sternkarte.

[3] Vgl. Note 2.

ruhe den Nordpol über seinem Horizonte hat, das zweite, weil Sirius südlich von der Äquatorebene steht. Es ist also[1]:

$$\log(-\tan\varphi) = 0{,}0608\ n$$
$$\log\tan\delta \quad = 9{,}4734.7\ n$$
$$\log\cos t_0 \quad = 9{,}5342.7$$
$$= \log\cos \pm 69^0\ 59',5.$$

Das Ergebnis ist ein positiver Kosinus, weil das negative δ das Minuszeichen der Formel ausgleicht. Zu diesem Kosinus gehören zwei Winkel, der eine im ersten, der andere im vierten Quadranten. Für $360^0 - 70^0$ kann man aber einfach -70^0 setzen. Wir haben also gefunden, daß der Stern untergeht, wenn sein Stundenwinkel etwa $+70^0$, und daß er aufgeht, wenn dieser -70^0 beträgt. Der Unterschied ist $= 139^0\ 59' = 9^h\ 19^m\ 56^s$. Der Stern bleibt also $9^h\ 19^m\ 56^s$ über dem Horizonte von Karlsruhe, indem er vom Aufgange bis zur Kulmination und von da bis zum Untergange je $4^h\ 39^m\ 58^s$ gebraucht.

Für $\delta = 0^0$ würde im allgemeinen[2] $\cos t_0 = 0$ werden. Diesem Werte entspricht $t = \pm 90^0 = \pm 6^h$. Es leuchtet auch unmittelbar ein, daß alle Sterne im Äquator 12^h über und 12^h unter dem Horizonte verweilen müssen; ihr Tagebogen — so heißt der über dem Horizonte liegende Teil des von einem Sterne in der täglichen Bewegung beschriebenen Kreises — ist gleich dem unter dem Horizonte liegenden Stücke, dem Nachtbogen. Der Name Äquator oder Gleicher[3] erklärt sich auf diese Weise.

Es werde ferner gefragt, wie lange Altair (α Aquilae) für Karlsruhe sichtbar ist. Man hat $\delta = +8^0\ 36'$, also

$$\log(-\tan\varphi) = 0{,}0608\ n$$
$$\log\tan\delta \quad = 9{,}1797$$
$$\log\cos t_0 \quad = 9{,}2405\ n$$
$$= \log\cos \pm 100^0\ 1'.$$

Dem negativen Werte des Kosinus entspricht nämlich ein Winkel im 2. oder 3. Quadranten; statt $360^0 - 100^0$ ist es hier einfacher, -100^0 zu setzen. Der ganze Tagebogen beträgt $200^0\ 2' = 13^h\ 20^m\ 8^s$, wovon je eine Hälfte auf den auf- und den absteigenden Zweig zu rechnen ist.

Wird $\delta = 90^0 - \varphi$, für Karlsruhe z. B. $\delta = 41^0\ 0'$, so wird $-\tan\delta\tan\varphi = -1$, also $t_0 = \pm 180^0 = \pm 12^h$: der Stern streift

[1] Da negative Zahlen keine Logarithmen haben, so sucht man die Logarithmen der entsprechenden positiven Zahlen und versieht sie mit einem n. Offenbar heben sich zwei n auf.

[2] Von dem besondern Falle $\varphi = 90^0$ abgesehen; vgl. die folgende Seite.

[3] Aequare, gleichmachen. — Die Sterne im Äquator beschreiben Hauptkreise, die andern kleine Kreise. Vgl. Fig. 12 S. 25; Fig. 8 und 9 S. 18 und 19.

in der untern Kulmination den Horizont, geht aber nicht unter. Wird $\delta > 90^0 - \varphi$, so wird der Ausdruck $\cos t_0 < -1$; es kann dann kein zugehöriger Winkel mehr gefunden werden, der Stern hat niemals die Höhe 0^0, oder er ist circumpolar. Für $-\delta = 90^0 - \varphi$, $\delta = \varphi - 90^0$ wird $-\tan\delta\tan\varphi = 1 = \cos 0^0$: der Stern streift in der obern Kulmination den Horizont und bleibt uns sonst unsichtbar. Für $\delta < \varphi - 90^0$ wird $\cos t_0 > 1$, es kann wieder kein Wert für t_0 angegeben werden: der Stern ist anticircumpolar und für uns ewig unsichtbar.

Wird $\varphi = 90^0$, d. h. fällt der Nordpol ins Zenith, so werden sämtliche Kosinus unendlich groß, d. h. kein Stern geht auf oder unter. Nur für $\delta = 0$ kann nun das Produkt $-\tan\varphi\tan\delta = \infty \cdot 0$ jeden beliebigen brauchbaren Wert haben, d. h. die im Äquator befindlichen Sterne sind dann alle zugleich im Horizont.

Für die Polhöhe des Wohnortes fertigt man sich am besten selbst eine Tafel der t_0 an, die nach ganzen Deklinationsgraden, etwa von -40^0 bis $+40^0$, fortschreitet [1].

Es kann noch gefragt werden, zu welcher Sternzeit ein bestimmter Stern auf- oder untergeht. Hierfür muß man auch seine Rektascension kennen und nach der Gleichheit $t = \vartheta - \alpha$ oder $\vartheta = t + \alpha$ verfahren, wo ϑ und α Sternzeit und Rektascension bezeichnen. Beim Altair z. B. ist $\alpha = 19^h\,45^m\,48^s$, die Sternzeit für den Untergang oder Aufgang also $19^h\,45^m\,48^s \pm 6^h\,40^m\,4^s = 2^h\,25^m\,52^s$ für den Untergang und $13^h\,5^m\,44^s$ für den Aufgang. Wie man sieht, ist hier die über 24^h hinausgehende Summe einfach um 24^h vermindert worden. Als weiteres Beispiel wähle man die Auf- und Untergangszeit von Pollux (β Geminorum, wofür $\alpha = 7^h\,39^m\,4^s$, $\delta = +28^0\,16'$ [2]) für Karlsruhe; man wird einen so großen Halbtagsbogen erhalten, daß zu der Kulminationszeit $7^h\,39^m\,4^s$ erst 24^h zu addieren sind, bevor man durch Subtraktion von t_0 die Aufgangszeit findet.

Man kann sich noch fragen, welches Azimut ein Stern bei seinem Unter- oder Aufgange besitzt, also durch welche Punkte des Horizontes er dabei geht. Die Formel (1) geht, wenn wir von der Seite $SP = 90^0 - \delta$ ausgehen, in die nachstehende über:

$$\sin\delta = \sin\varphi\sin h - \cos\varphi\cos h\cos A, \quad . \quad . \quad (9)$$

---

[1] Es möge noch bemerkt werden, daß sich für negative Polhöhen alles umkehrt, also für den Fall, daß der Südpol des Himmels über dem Horizont liegt. Das Vorzeichen von $\cos t_0$ ist eben dem des Produktes von $\tan\varphi$ und $\tan\delta$ entgegengesetzt.

[2] Daß α und δ Rektascension und Deklination, unter Umständen aber auch Sterne bezeichnen können, wird kaum jemanden irreführen.

wo sich die Vertauschung von sin und cos wie bei Formel (7) erklärt, während das Minuszeichen daher rührt, daß der in Formel (1) mit α bezeichnete Winkel jetzt $= 180^0 - A$ ist. Für Auf- und Untergang muß $h = 0$, $\sin h = 0$, $\cos h = 1$ gemacht werden, wodurch man zuletzt

$$\cos A_0 = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

erhält. Zu diesem $\cos A_0$ gehören wieder zwei Winkel. Für Sirius und Altair erhalten wir in der Polhöhe von Karlsruhe:

Sirius.	Altair.
$\log(-\sin\delta) = 9{,}4550.3$	$\log(-\sin\delta) = 9{,}1747\,n$
$\log\cos\varphi = 9{,}8169$	$\log\cos\varphi = 9{,}8169$
$\log\cos A_0 = 9{,}6381.3$	$\log\cos A_0 = 9{,}3578\,n$
$= \log\cos \pm 64^0\ 14'$.	$= \log\cos \pm 103^0\ 10^1/_2'$.

Wie man sieht, wird für südliche Sterne der Kosinus positiv, für nördliche negativ [1], d. h. für jene ist die Entfernung des Untergangs- und des Aufgangspunktes vom Südpunkte des Horizontes kleiner, für diese größer als 90^0. Man führt auch wohl die Entfernung dieser Punkte vom West- und Ostpunkte als Abendweite und Morgenweite ein. Kürzt man diese Namen durch A.W. und M.W. ab, so ist

$$A.W. = + A_0 - 90^0 = M.W. \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Für Sirius ist bei der mehrerwähnten Polhöhe $A.W. = -25^0\ 46'$, für Altair $A.W. = +13^0\ 10^1/_2'$; Sirius geht südlich vom Westpunkte unter und südlich vom Ostpunkte auf, Altair nördlich.

Tagebogen und Nachtbogen, Morgen- und Abendweite werden bei der Sonne besonders wichtig, weil sie die Beleuchtung und Erwärmung bestimmen. So erklären sich die Namen. — Man kann die Morgenweite mit dem Tagebogen in dieselbe Tabelle bringen. Der Globus gestattet uns, beide unmittelbar zu messen, allerdings nicht mit der Genauigkeit, die uns die Rechnung gewährt.

Weitere Aufgaben zu bilden ist hier nicht der Ort; die mitgeteilten Formeln der sphärischen Trigonometrie genügen zur Auflösung der meisten, man muß nur die richtigen auswählen und für a, b, c, α, β, γ die entsprechenden Seiten und Winkel des astronomischen Dreiecks einsetzen. Nur eine Aufgabe, welche die Nützlichkeit der sphärischen Rechnungen besonders darthut, wollen wir noch behandeln. Wie schnell ändert sich die Höhe eines Sternes? Wir haben

$$\sin h = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos t, \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

$$\sin(h + \triangle h) = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos(t + \triangle t) \quad . \quad (12)$$

[1] Umgekehrt natürlich, wo $\varphi < 0$, d. h. wo der Südpol über dem Horizonte liegt.

Hier soll $\triangle t$ einen kleinen Zuwachs bedeuten, den wir dem Stundenwinkel erteilen. Dadurch erleidet, wenn δ und φ ungeändert bleiben, die Höhe h gleichfalls einen Zuwachs, der $\triangle h$ genannt werden möge. Natürlich bleibt die allgemeine Formel (7) richtig; (12) ist nur ein besonderer Fall davon. Ziehen wir (7) von (12) ab, so wird

$$\sin(h + \triangle h) - \sin h = \cos\delta \cos\varphi\,[\cos(t + \triangle t) - \cos t].$$

Eine aus der ebenen Trigonometrie bekannte Umformung[1] giebt darauf, mit Weglassung des auf beiden Seiten vorkommenden Faktors 2,

$$\cos\left(h + \frac{\triangle h}{2}\right) \cdot \sin\frac{\triangle h}{2} = -\cos\delta\cos\varphi \cdot \sin\left(t + \frac{\triangle t}{2}\right) \cdot \sin\frac{\triangle t}{2}.$$

Bedenkt man nun, daß $\triangle h$ und $\triangle t$ sehr gering sein sollen, so darf der erste Faktor links durch $\cos h$, der dritte rechts durch $\sin t$ ersetzt werden; für $\sin\frac{\triangle h}{2}$ darf man $\frac{\triangle h}{2}$, d. h. $\operatorname{arc}\frac{\triangle h}{2}$, für $\sin\frac{\triangle t}{2}$ ebenso $\operatorname{arc}\frac{\triangle t}{2}$ setzen. So ergiebt sich zuletzt

$$\cos h \cdot \triangle h = -\cos\delta\cos\varphi\sin t \cdot \triangle t, \text{ oder}$$

$$\frac{\triangle h}{\triangle t} = -\frac{\cos\delta\cos\varphi\sin t}{\cos h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Nun ist nach dem Sinussatze (2)

$$\frac{\cos\delta}{\cos h} = \frac{\sin A}{\sin t} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

$$\text{und } \frac{\cos\varphi}{\cos h} = \frac{\sin s}{\sin t} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Aus (13) und (14) schließt man:

$$\frac{\triangle h}{\triangle t} = -\cos\varphi\sin A, \text{ oder } \frac{\triangle h'}{\triangle t^m} = -15\cos\varphi\sin A; \quad (16)$$

aus (13) und (15) dagegen:

$$\frac{\triangle h}{\triangle t} = -\cos\delta\sin s, \text{ oder } \frac{\triangle h'}{\triangle t^m} = -15\cos\delta\sin s. \quad (17)$$

Diese beiden wichtigen Formeln gelten für verschwindend kleine $\triangle t$; da nun der Stundenwinkel proportional der Zeit wächst, so kann man etwa die Höhenänderung in einer Zeitminute[2] suchen. Die Höhe wird aber nur in Bogenmaß ausgedrückt, und da $1^m = 15'$, so muß man in der zweiten Fassung der Formeln (16) und (17) den Faktor 15 beifügen.

Aus (16) erfährt man, daß die Geschwindigkeit der Höhenänderung dem Sinus des Azimutes direkt proportional ist, da $\cos\varphi$ an demselben Orte konstant bleibt. Die Geschwindigkeit erreicht also ihr Maximum für $A = \pm 90^0$. Ist $A = +90^0$, so steht der Stern

---

[1] Schwering, Trigonometrie § 21. Focke u. Kraß, Trigonometrie, Formel 23. Bork, Mathem. Hauptsätze II, § 37.

[2] Wie die höhere Mathematik zeigt, gilt auch da die Formel noch recht genau, obgleich ja die Zunahmen durchaus nicht verschwindend klein sind.

im Vertikal des Westpunktes, und die Geschwindigkeit des Herabsinkens (beachte das Minuszeichen) ist am größten; ebenso die Geschwindigkeit des Steigens für $A = -90^\circ$, wenn der Stern im Vertikal des Ostpunktes steht. Diese beiden Halbvertikale zusammen hat man mit nicht sehr glücklicher Wahl als den ersten Vertikal[1] bezeichnet. So ist denn z. B. im Sommer, wo die Sonne nördlich vom Äquator steht, ihre Höhenänderung nicht etwa beim Unter- und Aufgange am größten, sondern in den Augenblicken, wo sie genau im Westen und im Osten steht. Im Winter dagegen, wo sie südlich vom Äquator steht, gehören die Durchgänge durch den ersten Vertikal dem Nachtbogen an; für den Beobachter ergeben Auf- und Untergang die größten Höhenänderungen.

Ist für einen Stern $\delta = \varphi$, so kulminiert er im Zenith und erfährt in diesem Augenblicke seine größte Höhenänderung. Ist aber $\delta > \varphi$, dann liegt nicht nur die untere, sondern auch die obere Kulmination des Sternes nördlich vom Zenith, und durch den ersten Vertikal geht er dann gar nicht. Um den Zeitpunkt seiner größten Höhenänderung zu bestimmen, brauchen wir nun die Formel (17). Sie zeigt, wenn δ konstant ist, daß dem Sinusmaximum des parallaktischen Winkels s ein Maximum der Höhenänderung entspricht. Denkt man sich nämlich an den Parallelkreis, den der Stern beschreibt, vom Zenith aus zwei berührende Hauptkreise gezogen und vom Pole auf diese die senkrechten Hauptkreisbogen gefällt, die in den Berührungspunkten eintreffen[2], so zeigt sich, daß der Stern, wenn er in einem dieser Punkte ist, gar keine azimutale Änderung erfährt; denn seine Bewegung ist vertikal auf- oder abwärts gerichtet. Er erfährt aber wohl eine bedeutende Höhenänderung, und zwar die größte mögliche. Es ist nun $s = \pm 90^\circ$, also $\sin s = \pm 1$. Diese Stellung eines Sternes, der nicht in den ersten Vertikal kommt, nennen wir das stationäre Azimut oder die größte Digression.

Zwei Beispiele mögen noch die letzten Ausführungen erläutern. Wann kommt für Karlsruhe der Stern Altair in den ersten Vertikal, und wie schnell ändert sich dann seine Höhe? Durch Anwendung der Napierschen Analogien (4) auf das astronomische Dreieck erhält man:

$$\left.\begin{aligned} \tan\frac{A+s}{2} &= \frac{\cos\frac{\varphi+\delta}{2}}{\sin\frac{\varphi-\delta}{2}}\cdot\tan\frac{t}{2} \\ \tan\frac{A-s}{2} &= \frac{\sin\frac{\varphi+\delta}{2}}{\cos\frac{\varphi-\delta}{2}}\cdot\tan\frac{t}{2} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (18)$$

---

[1] Der Null-Vertikal ist der auf jenem senkrecht stehende Meridian.

[2] Es zeigt sich hier, wie in so vielen Fällen, eine vollkommene Übereinstimmung der Geometrie der Kugel mit der der Ebene.

Soll hier A = 90° werden, so müssen die beiden links stehenden Winkel $\frac{A + s}{2}$ und $\frac{A - s}{2}$ zusammen gleich 90° werden; das Produkt ihrer Tangenten wird dann gleich 1, woraus man leicht

$$\tan \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta)}{\sin(\varphi + \delta)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

ableitet. In unserem Falle hat man $\varphi - \delta = 40^0\, 24'$; $\varphi + \delta = 57^0\, 36'$; also

$$\log \sin(\varphi - \delta) = 9{,}8117$$
$$\log \sin(\varphi + \delta) = 9{,}9265$$
$$\log \tan \frac{t}{2} = \frac{1}{2} \cdot 9{,}8852$$
$$= 9{,}9426 = \log \tan 41^0\, 13{,}'5$$

und hieraus $t = 82^0\, 27' = 5^h\, 29^m\, 48^s$. Der Stern geht also, da seine Rektascension $19^h\, 45^m\, 48^s$ beträgt, westlich um $0^h\, 15^m\, 36^s$ und östlich um $14^h\, 16^m\, 0^s$ Sternzeit durch den ersten Vertikal. Aus (16) geht dann, da sin A = 1 ist, $\mp \frac{\triangle h'}{\triangle t^m} = 15 \cos \varphi = 9{,}841$ hervor, d. h. der Stern sinkt oder steigt in diesen Zeitpunkten um 9,841 Bogenminuten für jede Zeitminute.

Ist $\delta > \varphi$, so wird, wie vorhin bemerkt, der erste Vertikal nicht erreicht; für $\tan \frac{t}{2}$ ergäbe sich dann aus (19) ein imaginärer Wert. Bedenkt man aber, daß nun für das stationäre Azimut s = 90°, also $\tan \frac{A + s}{2} \cdot \tan \frac{A - s}{2} = -1$ ist, da sich die Winkel um 90° unterscheiden, so hat man für diese Phase

$$\tan \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\sin(\delta - \varphi)}{\sin(\delta + \varphi)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

Die numerische Durchführung etwa für die Polhöhe von Karlsruhe und den Stern ε Ursae maioris ($12^h\, 49^m\, 30^s + 56^0\, 31'$) möge dem Leser überlassen bleiben. Wünscht man sich noch weiter in der Behandlung des astronomischen Dreieckes zu üben, so kann man etwa fragen, wann ein Stern eine bestimmte Höhe erreicht (durch einen bestimmten Almukantarat geht) oder ein bestimmtes Azimut hat (durch einen bestimmten Vertikal geht). Im ersten Falle kennte man von dem Dreieck alle Seiten, so daß mit Formel (6) am besten zu rechnen wäre.

Alle Sichtbarkeitsverhältnisse erläutert am einfachsten der Himmelsglobus. Die Fig. 27 (S. 62) zeigt die Erscheinungen in einer Gegend, wo die Polhöhe 90° beträgt; es ist die sogen. parallele Sphäre, sphaera parallela. Fig. 26 (S. 61) zeigt das Verhalten in der Polhöhe von 0°. Die Tagebogen, die in der andern Figur parallel zum Äquator waren, stehen hier senkrecht: sphaera recta, die senkrechte Sphäre. Endlich zeigt Fig. 28 (S. 62)

das Verhalten in einer beliebigen durch den Bogen H′P gemessenen Polhöhe: sphaera obliqua, die schiefe Sphäre. In Fig. 27 fallen die Kardinalpunkte des Horizontes weg, da ihr Ort unbestimmt ist; in Fig. 26 fallen sie mit den Polen zusammen.

Siebentes Kapitel.

Gestalt und Größe der Erde.

Daß die Gestalt und Größe der Erde in der Himmelskunde behandelt wird, hat einen doppelten Zweck. Zunächst kann man sie nur mit Hilfe von Fixsternbeobachtungen ermitteln, der Geodät und Geograph wird also fortwährend auf die Hilfe des Astronomen angewiesen. Andererseits bedarf aber auch dieser der Kenntnis des Erdkörpers, um daraus weitere Schlüsse betreffs der Entfernungen und Bewegungen im Weltall zu ziehen.

Die Erde ist keine Ebene, sondern sie ist kugelähnlich gewölbt. Für diese Behauptung giebt es einen streng geometrischen Beweis, durch den wir auch zu ihrer Ausmessung gelangen, daneben einige Anschaulichkeitsbeweise und ein paar andere Gründe, die für sich allein wenig Beweiskraft hätten.

Wir kennen an jedem Beobachtungsorte eine Linie, die in Bezug auf alle irdischen Gegenstände fest ist, die Vertikale, und eine zweite, die nicht nur in Bezug auf diese, sondern auch an der Sphäre selbst einen festen Stand hat, die Weltachse. Die Weltachsen verschiedener Orte sind parallel, denn die Richtungen von allen irdischen Orten nach einem und demselben Fixsterne sind (vgl. das dritte Kapitel) parallel, und die Himmelspole haben unter den Fixsternen ihre festen Standörter[1]. Wäre die Erde eben, so wären nicht nur die Weltachsen, sondern auch die Vertikalen aller Orte unter sich parallel. Und da Winkel mit parallel gerichteten Schenkeln einander gleich sind, müßte man allerwärts dieselbe Zenithdistanz eines Poles, also auch dieselbe Polhöhe beobachten. Dem widerspricht aber die Erfahrung. Sie lehrt, daß auf einer Reise von Norden nach Süden die Höhe des Nordpols beständig und gleichmäßig abnimmt. Also muß die Erde in nordsüdlicher Richtung gekrümmt sein, und wir dürfen vermuten, daß sie eine Kugel sei. Indessen könnte sie ja noch cylindrisch sein, nämlich nur von Norden nach Süden gekrümmt, während in der darauf senkrechten Richtung gerade Linien über ihre Fläche liefen. Aber auch dem widerspricht die

[1] Von der später zu besprechenden Präcession, Nutation und Eigenbewegung wird hier abgesehen. Der kundige Leser wird bemerken, daß dieses auch beim Ansetzen der Rektascensionen und Deklinationen der Sterne in den Übungsbeispielen des vorigen Kapitels geschehen ist.

Erfahrung. Geht man nämlich senkrecht zu der Meridianebene eines Ortes weiter und sorgt, etwa durch aufgesteckte Stangen, daß man immer in derselben Ebene fortschreitet, so zeigt sich, zwar nicht so bald, wie beim Fortschreiten von Norden nach Süden, aber am Ende immer deutlicher, eine Änderung der Polhöhe. Diese könnte offenbar nicht stattfinden, wenn alle Meridianebenen unter sich parallel wären. Also ist die Erde auch von Westen nach Osten gekrümmt, ihre Oberfläche hat doppelte Krümmung.

Die Größe der Krümmung läßt sich in meridionalem (nordsüdlichem) Sinne verhältnismäßig leicht ermitteln. Wir können ja an einem Beobachtungsorte die Weltachse bestimmen, indem wir etwa den Winkel zwischen zwei um 12^h Sternzeit auseinanderliegenden Stellungen des Polarsternes halbieren. Schreiten wir nun in dieser Meridianebene 111,3 km nordwärts weiter, so hebt sich der Nordpol des Himmels um einen Grad, für kleinere Entfernungen entsprechend weniger. Da auch ein einfacher Theodolit das Ablesen der Winkel auf die Minute[1] genau gestattet, die einem linearen Wege von weniger als 2 km entspricht, so kann man schon in geringen Entfernungen die meridionale Krümmung der Erdoberfläche nachweisen. Um die Krümmung in westöstlichem Sinne kennen zu lernen, hat man anders zu verfahren. Geht man nach Osten weiter und sorgt beständig dafür, daß die Polhöhe unverändert bleibt, so wird man finden, daß man nun nicht in derselben Ebene bleibt[2], während, wie vorhin gesagt, die Polhöhe geändert wird, wenn man für Erhaltung der Ebene sorgt. Es fragt sich also, wie das Maß der unzweifelhaft bestehenden westöstlichen Krümmung gefunden wird. Man kann sich zu diesem Ende der Uhr bedienen, d. h. einer mechanischen Vorrichtung, die erfahrungsgemäß den Gang der täglichen Bewegung oder der Sternzeit wiedergiebt. Die neuere Zeit hat tragbare Uhren von größter Genauigkeit geschaffen; wir werden uns später ein wenig damit zu beschäftigen haben. Es sei an einem Orte der Erde, wo die Polhöhe $= 0^0$ ist, d. h. wo man beide Himmelspole beständig im Horizonte sieht und der Äquator durch das Zenith geht[3], die Uhr genau nach Sternzeit reguliert, so daß sie $0^h\ 0^m\ 0^s$ zeigt, wenn der Stundenkreis des Frühlingspunktes seine obere Kulmination hat, und daß dann nach Ablauf je einer Uhrstunde ein um 15^0 weiter liegender Stundenkreis kulminiert, daß also die von den Zeigern angegebene, bis 24^h gehende Zeit genau gleich der Rektascension der jeweils kulminierenden Sterne ist. Wir tragen dann die Uhr in östlicher Richtung 111,3 km weiter, wobei wir dafür sorgen, daß

[1] Der in Fig. 10 (S. 22) abgebildete Apparat ist auf die Winkelsekunde genau.

[2] Der Nachweis ließe sich z. B. durch Zeichen führen, etwa Sonnenblitze, die von hohen Türmen oder Bergen ausgesandt würden.

[3] Wo also, wie man aus dem vorigen Kapitel ersieht, der Äquator zugleich der erste Vertikal ist. Sphaera recta!

die Polhöhe = 0° bleibt. Es wird sich zeigen, daß an dem neuen Orte die Sterne nicht mehr der Uhr gehorchen, daß jeder 4^m zu früh in den Meridian des neuen Ortes kommt. Zugleich weist die Beobachtung aus, daß hier in der Polhöhe von 0°, aber auch nur hier, das Fortschreiten in östlichem Sinne zugleich ein Fortschreiten in derselben Ebene ist. Für geringe Verschiebungen ergiebt sich ein entsprechend kleinerer Fehler, immer aber für alle Sterne derselbe; die gegenseitige Lage bleibt ungeändert, wie auch aus Früherem hervorgeht.

Derselbe Versuch werde nun in einer andern Polhöhe φ angestellt. Außer der mehrerwähnten Krümmung des Weges, die nach Norden oder Süden hohl ist, je nachdem man den Nordpol oder den Südpol über dem Horizonte hat, bemerken wir, daß schon eine geringe Verschiebung eine deutliche Sternzeitänderung bewirkt. Genauere Beobachtungen zeigen, daß wir, um die Änderung von 4^m oder einem Grade zu erzielen, nicht 111,3 km, sondern 111,3 km $\times \cos \varphi$ nach Osten zu gehen brauchen. Hier ist $\cos \varphi$ bekanntlich ein echter Bruch, den wir, sobald $\measuredangle \varphi$ in ein rechtwinkeliges Dreieck BCD, (Fig. 16) gebracht ist, als Verhältnis der anliegenden Kathete BD zur Hypotenuse BC erhalten.

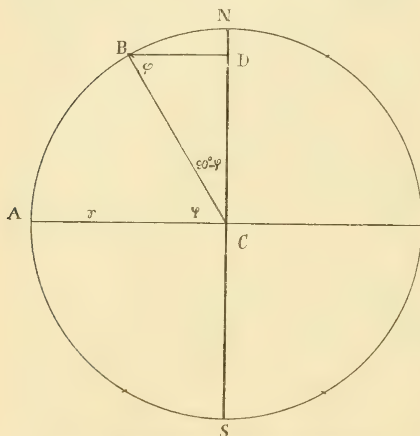


Fig. 16. Meridiandurchschnitt durch die Erdkugel.

Offenbar wird dieser Beobachtung nur durch die Annahme genügt, daß die Erde kugelförmig sei. Drehen wir die Figur um die Linie NS als Achse, so beschreibt CA eine bestimmte Kreisfläche, DB eine kleinere; die Umfänge oder allgemein die Bogen der Kreise stehen im Verhältnisse $\cos \varphi : 1$. Die ganze Sternzeitänderung rührt daher, daß unsere neue Meridianebene mit der alten einen Winkel z. B. von einem Grade macht, dem auf dem größern Kreise eine Bogenlänge von 111,3 km entspricht, auf dem kleinern eine entsprechend kleinere. Der ganze Meridiankreis beschreibt bei der Drehung die Kugelfläche. Es entspricht ein Bogengrad davon einer Länge von 111 km, der ganze Umfang der Kugel beträgt also etwa 40 000 km. Fig. 17 stellt diese Kugel im Maßstabe der Fig. 16 dar, nämlich 200millionenmal verkleinert.

Die Krümmung nach allen Seiten läßt sich noch auf andere Art nachweisen. Hat man an einem Orte beobachtet, daß ein Stern durch das Zenith ging, so wird man nach einem Sterntage (also nach $23^h\,56^m\,4^s$) an diesem Orte dasselbe wahrnehmen können. Inzwischen versehe man mehrere Beobachter mit Theodoliten und mit Uhren, die man nach der Sternzeit jenes Ortes reguliert hat. So[1] läßt es sich ermöglichen, daß die Beobachter, die nun alle nach verschiedenen Richtungen um dasselbe Stück, etwa um 11 km, weiterzureisen haben, später alle in demselben Augenblick den Stern durch ihre Theodolite beobachten, da er an dem ersten Orte wieder im Zenith steht. Es wird dann jeder den Stern nach der Richtung des ersten Ortes verschoben sehen, und jeder um 0,1° oder 6′. In Wahrheit sind, wie wir wissen, alle Gesichtslinien nach diesem Sterne, d. h. die Theodolite aller jener Beobachter, als parallel anzusehen; aber ihre Vertikalen machen mit der des mittlern Ortes lauter Winkel von je 6′. — Wenn die Vertikalen, also die Richtungen der Schwerkraft, schon in kurzem Abstande nachweisbare Änderungen erfahren, dürfen wir uns nicht wundern, daß zuletzt Änderungen um volle 180° herauskommen, d. h. daß es auf der Erde Gegenfüßler oder Antipoden giebt. Ja diese Annahme, daß die Erde kugelähnlich ist und frei schwebt, eine Annahme, die auch durch zahlreiche Weltumsegelungen[2] fortwährend bewiesen wird — sie kann uns allein über die Frage hinweghelfen, wovon die Welt getragen werde. Die alten Mythologien waren darüber in großer Verlegenheit, weil jede neue Unterlage, bei den Hindu z. B. jedes neue heilige Tier, einer weitern Unterlage bedurfte.

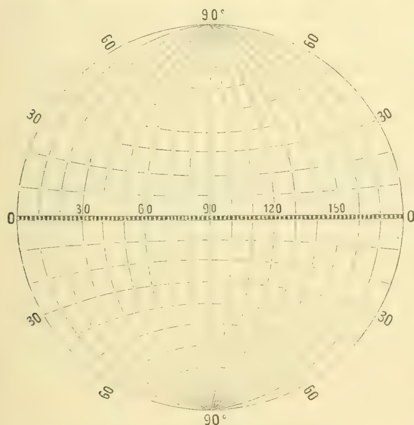


Fig. 17. Gradnetz auf der Erdkugel.

So ist es nicht zu verwundern, daß schon im Altertum die Kugelgestalt der Erde sicher erkannt wurde. Diese Wahrheit konnte im christlichen

[1] Oder auch durch den Telegraphen.

[2] Die Weltumsegelungen an sich bezeugen schon, daß die Erde frei im Raume schwebt; die auf ihnen angestellten Beobachtungen bezeugen täglich die Kugelgestalt.

Mittelalter zeitweilig verloren gehen, ja es haben sich selbst sehr verständige Leute dagegen erklärt. Allerdings sind nicht alle Beweise von so zwingender Kraft wie der geometrische, welcher sich die nicht genug zu betonende unermeßliche Entfernung der Fixsterne zu nutze macht.

Nachdem Pythagoras der Erde die Kugelgestalt als die vollkommenste Form überhaupt zugewiesen hatte, bedurfte es eines Aristoteles, um an Stelle dieser philosophischen Phrase eine haltbarere Ableitung zu setzen. Der große Stagirit betonte, daß der Schlagschatten der Erde auf dem Monde in dessen sogen. Finsternissen immer kreisrund begrenzt sei. Einen solchen immer kreisförmigen Schatten kann aber nur eine Kugel werfen. Dieser Sachverhalt darf als eine schöne Bestätigung, nicht als ein strenger Beweis angesehen werden. Um überhaupt die an sich[1] wahrscheinliche Aussage beweisen zu können, daß es der Kernschatten der Erde ist, der den Mond überzieht, muß man von der Entfernung des Mondes und von der Größe und Gestalt der Erde bereits so viel wissen,

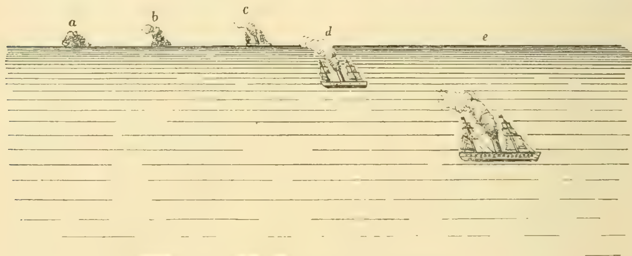


Fig. 18. Krümmung der Meeresfläche.

daß man keines Beweises mehr bedarf. Zudem ist es immer nur ein kleines, schlecht begrenztes Stück des Schattenumrisses, das wir auf dem Monde sehen.

Besser steht es mit dem Beweise, der von den Erscheinungen auf der See ausgeht. Daß erst Plinius (im ersten nachchristlichen Jahrhundert) auf diesen handgreiflichen Beweis verfallen zu sein scheint, nachdem Pythagoras mit einer philosophischen Forderung und Aristoteles mit einem sinnreichen geometrischen Gedanken vorgegangen war, das ist für den hochfliegenden hellenischen Geist bezeichnend, dem so oft das Nächstliegende entging[2].

[1] Wegen der Stellung der Sonne zum Monde.

[2] Man wird sich das kaum aus der Bauart oder dem Anstriche der ältern Seefahrzeuge erklären können. Übrigens müssen die Griechen auf ihren zahlreichen Fahrten oft genug Rauchwolken oder Gebäudespitzen gesehen haben, wobei sie sich fragen mußten, warum denn die viel größern und hellern Gegenstände darunter nicht sichtbar waren. Dazu bedenke man die sprichwörtliche Himmelsklarheit. — Übrigens war der von uns an die Spitze gestellte Beweis dem Aristoteles auch schon bekannt.

Von einem auf uns zukommenden Schiffe, etwa dem Dampfschiff in Fig. 18, sehen wir zuerst (a) die Rauchfahne, dann (b) auch die Spitze des Schornsteines und der Masten, allmählich (c, d, e) alles übrige. Dieser Vorgang ist unabhängig von der Färbung und Größe der Teile, wie das Fernrohr noch schärfer zeigt. So wird der breite, manchmal sehr hell gestrichene Rumpf dennoch viel später sichtbar als die schmale schwarze Rauchfahne. Beim Abfahren des Schiffes wiederholen sich die Vorgänge in umgekehrter Reihenfolge. Offenbar lassen sie sich (Fig. 19) durch Annahme der Kugelgestalt leicht und vollständig erklären. Für den mit dem Schiffe Ankommenden oder Abfahrenden verhalten sich die Gegenstände auf dem Festlande ähnlich, z. B. die Türme. In Bezug auf Anschaulichkeit wird dieser Beweis, von dem man im übrigen nicht dieselbe Fruchtbarkeit in Bezug auf Messungen erwarten darf wie von dem rein geometrischen, wohl von keinem andern übertroffen. Namentlich wenn man, am Meeresstrande auf hoher Warte sitzend, zahlreiche Schiffe in verschiedenen Entfernungen sieht, kann man die Kugelgestalt der Erde fast mit Händen greifen. Die Thatsache ist auch wilden Völkern nicht unbekannt, wie denn z. B. die malaiischen Seeräuber, um von den holländischen Regierungsdampfern nicht beobachtet werden zu können, „sich hinter der Wölbung der Erde bergen“, d. h. ihren Kurs senkrecht zu dem des Dampfers nehmen, bis die Rauchfahne verschwindet.

Fig. 19. Kugelgestalt der Erde.

Es ist hier auch der Ort, über den Unterschied zwischen scheinbarem, natürlichem und mathematischem Horizonte zu reden. Legen wir an die glatte Erdoberfläche in irgend einem Punkte die Berührungsebene MM′ (Fig. 20), so schneidet diese aus der Sphäre einen Hauptkreis, den wir gemäß den Definitionen des ersten Kapitels den Horizont nennen, und zwar den scheinbaren mit Rücksicht darauf, daß wir für solche Sterne, die nicht als unendlich weit anzusehen sind, parallel zu dieser Ebene eine andere durch das Centrum der Erdkugel zu legen haben, die aus der Sphäre den mathematischen oder wahren Horizont GG′ ausschneidet. Alle Punkte des scheinbaren Horizontes haben offenbar die Zenithdistanz 90°, d. h. die zu ihnen gehenden Richtungslinien bilden rechte Winkel mit der Vertikalen. Indessen läßt sich dieser scheinbare Horizont so gut wie nie beobachten, weil man sich immer etwas über die Erdoberfläche erhebt. Es ergiebt sich ein dritter, der natürliche Horizont. In Fig. 20 ist RR′ ein zu GG′ paralleler kleinerer Kreis der Sphäre; er enthält die Sterne, die die

Zenithdistanz 90° für den in A befindlichen Beobachter haben. Sind es Fixsterne, so hätten sie dieselbe Zenithdistanz auch für den Beobachter auf der Erdoberfläche und für den im Centrum T der Erde befindlichen. Aber für den Beobachter in A ergänzen sich nicht mehr Zenithdistanz und Höhe zu 90°; er überschaut ein größeres Gebiet der Sphäre als die Hälfte. Sein natürlicher Horizont, auch Kimm genannt, die Grenzscheide zwischen Erde und Himmel, ist der kleine Kreis, worin der Kegelmantel AC, AC′ AC_2 . . . die Sphäre durchsetzt. Es ist zu betonen, daß die Vergrößerung der Halbsphäre nur von dem Verhältnisse des Erdradius zur Erhebung von A abhängt, nicht von dem Radius der Sphäre.

Man übersieht also von einem hochgelegenen Beobachtungsorte aus einen größern Theil der Sphäre als nur die Hälfte; das überschaute Stück der Erdoberfläche ist kreisförmig begrenzt und wächst mit zunehmender Höhe des

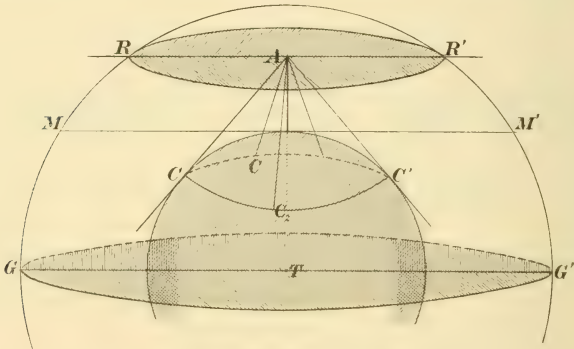


Fig. 20. Die Horizonte.

Beobachters dem wahren Umfange nach, während es dem Winkeldurchmesser nach beständig abnimmt. Erst in sehr großer Entfernung würden wir nahezu die ganze Erdhälfte überschauen können; sie würde uns aber als sehr kleine Scheibe erscheinen, etwa wie jetzt der Mond und die Sonne und im Fernrohr auch die Planeten. Den natürlichen Horizont kann offenbar ein Fernrohr nicht erweitern; es kann nur die Gegenstände deutlicher sichtbar machen. Seine Erweiterung, die man von hohen Bergen und vom Luftballon aus beobachtet, ist ein weiterer Anschauungsbeweis für die Kugelgestalt der Erde; dabei werden wir auf eine Vergleichung der Erde mit den Himmelskörpern hingewiesen. Als Höhe im astronomischen Sinne dürfen wir nur den Winkel mit dem scheinbaren oder nach Umständen mit dem mathematischen Horizonte ansetzen, nicht den Winkel mit der Kimm. Bei Beobachtungen, die diesen ergeben, muß man, um die wahre Höhe zu er=

halten, noch die Depression des Horizontes oder die Kimmtiefe hinzufügen[1], also den Winkel der Linie AC mit der Ebene MM′. — Sind die Blicklinien der Augen nicht horizontal, sondern so gerichtet, daß man die Meeresoberfläche bis zur Kimm überschauen kann, so stellt die Kimm offenbar den höchsten Punkt der sichtbaren Fläche dar, wie es denn auch in unserer Fig. 18 und in allen sonstigen Darstellungen der Meeresfläche (analog auch der Festlandsfläche) gehalten wird. Daher der Ausdruck: ein Schiff erscheint auf der Höhe eines Hafens.

Ein sphärischer Konvexspiegel hat bekanntlich die Wirkung, daß man verkleinerte Bilder der Gegenstände sieht. Hierauf haben die schweizerischen Physiker Forel und Dufour einen neuen und schönen Anschauungsbeweis für die Rundung des Wasserniveaus gebaut. Sie haben nachgewiesen, daß der Winkeldurchmesser der Sonne größer ist als der ihres Spiegelbildes in großen Seen. Das Bild muß natürlich aus einiger Höhe gemessen werden.

Für die Kugelgestalt der Erde wird auch wohl noch ein Analogiebeweis angegeben, der aber auf schwachen Füßen steht. Man sagt nämlich, es werde an allen Planeten die Kugelgestalt wahrgenommen, also müsse man sie auch der Erde zuschreiben. Das ist unlogisch; denn daß die Erde ein Planet sei, wird niemand annehmen, der nicht schon von ihrer Kugelform und Achsendrehung überzeugt ist. Als Bestätigung kann man die Thatsache später allenfalls hinnehmen.

Genauere Messungen, zuerst die französische Gradmessung am Ende des 18. Jahrhunderts, haben gezeigt, daß die Erde, auch abgesehen von ihren Gebirgen, keine vollkommene Kugel ist. Ihre Gestalt ist die eines kurzen Rotationsellipsoides oder Sphäroides. Da dieselbe Gestalt wahrscheinlich auch vielen Himmelskörpern zukommt, haben wir ihren Begriff zunächst kennen zu lernen.

Der gerade Kegelmantel ist eine Fläche, die durch Rotation eines Winkels um einen seiner Schenkel entsteht (vgl. zweites Kap., S. 9). Schneidet man ihn durch eine Ebene, die senkrecht auf dem festen Schenkel, der Achse des Kegels, steht, so ist die Schnittlinie offenbar ein Kreis. Schneidet man ihn aber schief gegen diese Linie, so erhält man einen Langkreis oder eine Ellipse. Unsere Fig. 21 zeigt einen solchen Kegelschnitt. Schon die alten Griechen haben eine Reihe von merkwürdigen Eigenschaften der Ellipse entdeckt. Es sei K der Punkt des Schnittes, der am nächsten bei der Kegelspitze C ist, L der entfernteste. Dann läßt sich zeigen, daß LK mit der Kegelhöhe in eine Ebene (die der Zeichnung) fällt. Man kann eine kleine

[1] Man findet dafür leicht die Formel: $\sin \frac{1}{2} k = \sqrt{\frac{h}{2(r+h)}}$, wo k die Kimmtiefe, h die Erhebung des Punktes und r der Erdradius ist. Die später zu besprechende Refraktion verwickelt übrigens die Sache.

und eine große Kugel konstruieren, die jede den Kegel in einem Kreise, z. B. in DE, und die Ellipsenebene in einem Punkte, nämlich in B und B_1, berühren. B und B_1 liegen auf LK, und es ist $KB = LB_1$. Ferner läßt sich für jeden beliebigen Punkt P der Ellipse beweisen, daß $PB + PB_1 = LK$ ist, gleich der sogen. *großen Achse* der Ellipse. Damit sind alle solche Summen auch unter sich gleich; wären also Q und R andere Punkte der Ellipse, so hätte man $PB + PB_1 = QB + QB_1 = RB + RB_1$ u. s. w. Es ergiebt sich aus dieser Eigenschaft eine sehr bequeme mechanische Konstruktion der Ellipse. Man schlage zwei Nägel in ein Reißbrett und lege darum einen geschlossenen Bindfaden, der dann durch einen Schreibstift gespannt wird. Indem man diesen Stift ganz um die Nägel herumführt, beschreibt man eine Ellipse (Fig. 22). Die Kugelberührungspunkte haben noch andere beachtenswerte Eigenschaften. In Fig. 23 sind diese Punkte F und F' genannt. Verbindet man sie mit dem Kurvenpunkte P und halbiert sowohl den Winkel FPF' als auch (durch die Linie $S_1 S_2$) dessen Nebenwinkel, so hat man zwei aufeinander senkrechte Linien. $S_1 S_2$ ist *Tangente* an die Ellipse, und die darauf senkrechte Halbierungslinie ist *Normale* der Kurve. Stellt diese einen elliptischen Hohlspiegel dar, so ist die Normale das Einfallslot. Ein von F ausgehender Strahl, der P oder irgend einen andern Punkt der Kurve trifft, wird (vgl. S. 88) nach F' zurückgeworfen, und umgekehrt. Darum heißen diese Punkte die *Brennpunkte der Ellipse*. — Die auf der großen Achse errichtete Mittelsenkrechte heißt *kleine*

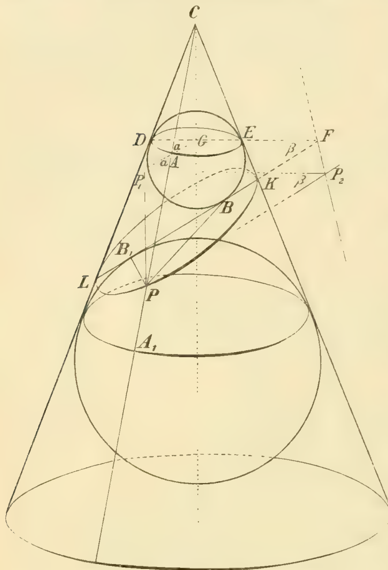
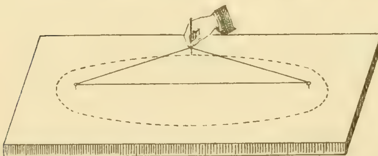


Fig. 21. Die Ellipse als Kegelschnitt.


Fig. 22. Zeichnung einer Ellipse.

Achse und ist der kleinste Durchmesser der Kurve. Die Krümmung der Ellipse ist am stärksten in den Endpunkten der großen, am schwächsten in denen der kleinen Achse. Legt man in jenen und in diesen eine und dieselbe Strecke (z. B. ein Meter) zurück, so ändert sich die Normalenrichtung in den Enden der kleinen Achse am wenigsten[1]. Drehen wir eine Ellipse um ihre kleine Achse, so beschreibt sie ein kurzes Sphäroid oder Rotationsellipsoid. Daß die Erde ein solches ist, steht nach den Gradmessungen des 18. und 19. Jahrhunderts unzweifelhaft fest. Man maß bestimmte Strecken linear aus und bestimmte zugleich astronomisch, nämlich aus der Beobachtung der Fixsterne, die Drehung der Vertikalen. Das Genauere gehört der Geodäsie an. Die große Halbachse der Erzeugungsellipse oder der Radius des Äquators ist nach Bessels Rechnung, an der die Neuzeit wenig ändern konnte, = 6 377 397 m, die kleine oder die halbe Erdachse = 6 356 079 m.

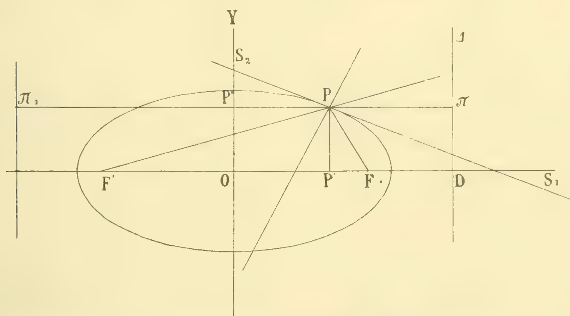


Fig. 23. Tangente und Normale der Ellipse.

Damit sind wir fast unmerklich zur irdischen Bedeutung der Weltachse gelangt. Obgleich die ausgemessenen Gebiete verhältnismäßig klein sind, ergiebt sich doch mit größter Gewißheit, daß die kleine Achse des Erdsphäroides der Weltachse parallel ist. Ihre Endpunkte werden darum Nordpol und Südpol der Erde genannt. Die darauf senkrechte Ebene durch das Centrum der Erde ist parallel der an einem beliebigen Orte bestimmten Äquatorebene des Himmels; sie heißt der Äquator der Erde und ist deren größter Durchschnitt. Daß die Polhöhe am Äquator = 0°, an den Erdpolen = ± 90° ist, erhellt sofort. Für zwischenliegende Punkte ist die Sache etwas schwieriger. Es stelle Fig. 24 einen meridionalen Durchschnitt der Erde vor. Das Erdcentrum (in Fig. 23 der Punkt 0) heißt hier C,

[1] Die Beweise für alle diese Sätze hat man in mathematischen Büchern zu suchen; so z. B. in dem stereometrischen Leitfaden von Schwering (Freiburg, Herder) und in dem oben (S. 42) angeführten Buche von Bork.

und wir erkennen sofort, daß die Normale PN, welche identisch mit der Vertikalen oder Nadirlinie ist, nicht zum Centrum der Erde geht, wie sie es bei kugelförmiger Erde thun würde. Die Tangente steht senkrecht auf der Normalen, ebenso die Tangentialebene, die wir erhalten, indem wir die Tangente um PN drehen. Diese Ebene ist offenbar die des scheinbaren Horizontes. Der Winkel φ der Normalen mit der Äquatorebene ist gleich 90^0 — MPN, also auch gleich dem hier als Polhöhe bezeichneten Winkel zwischen der (gestrichelten) Richtung zum unendlich fernen Himmelspol und der Horizontalebene. Die Linie PC vom Beobachtungsorte zum Erdcentrum macht dagegen mit CM den offenbar etwas kleinern Winkel φ'. Dieser heißt die geocentrische Breite des Ortes, während man für die Polhöhe (= φ) den Ausdruck geographische Breite[1] gebraucht. — Die Strecke PC (Fig. 24) ist der lokale Erdradius, die Entfernung des Beobachtungsortes vom Centrum der Erde.

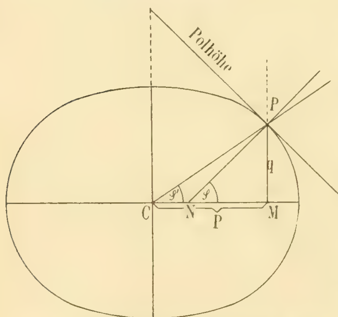


Fig. 24. Geographische und geocentrische Breite.

Jede durch die Polarachse der Erde gelegte Ebene schneidet aus dem Erdsphäroide einen irdischen Meridian, aus der Himmelssphäre die Meridianebene des Ortes, die im Verlaufe der täglichen Bewegung nach und nach mit allen Stundenkreisen zusammenfällt. Alle Orte in derselben Breite liegen auf einem Parallelkreise, für dessen Anwohner die Sterne auf dem gleichnamigen Himmelsparallelkreise der Reihe nach im Zenith kulminieren. Alle Sätze über die Polhöhe gelten auch für die geographische Breite; es ist ja dieselbe Größe, nur anders aufgefaßt. Unsere Fig. 25, worin der Einfachheit wegen die Erde als kugelig[2], also

[1] Von γῆ, Erde; κέντρον, Mittelpunkt; γράφω, beschreibe, weil für die Erdbeschreibung der Winkel φ, der die Beleuchtungsverhältnisse bestimmt, der wichtigere ist. Die Mathematik leitet folgende Gleichung zwischen diesen Winkeln φ' und φ ab, wo b und a die kleine und große Erdhalbachse bedeuten: $\tan \varphi' = \frac{b^2}{a^2} \tan \varphi$, oder $\tan \varphi' = 0{,}99326 \tan \varphi$, wenn man die Halbachsenwerte einsetzt. Der Unterschied $\varphi - \varphi'$, der an den Polen und am Äquator verschwindet, ist am größten in der Breite von 45°, beträgt aber auch hier nur 11′ 38″. Für den lokalen Erdradius giebt die Theorie der Ellipse die Gleichung: $\rho^2 = \frac{a^2 \cos \varphi}{\cos \varphi' \cos (\varphi - \varphi')}$. Die Größe (a — b) : a heißt die Abplattung der Erde.

[2] Die Abplattung würde im Maßstabe der Figur nur $^1/_{14}$ mm an jedem Pole ausmachen.

die geographische Breite zugleich als geocentrische aufgefaßt ist, zeigt die Beziehung des Erdballs zur Himmelskugel sehr anschaulich. Es ist a e der irdische, a′e′ der himmlische Äquator, und ähnlich ist für die Achsen n s und n′s′ gesetzt worden. Man muß aber beachten, daß die Himmelskugel eigentlich einen unermeßlich größern Radius hat.

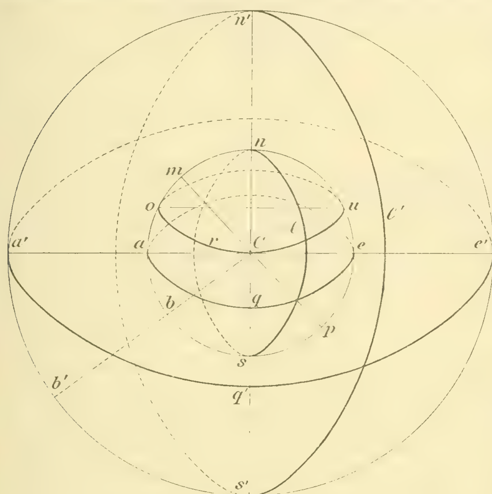


Fig. 25. Erdkugel und Himmelskugel.

Wie man am Himmel die Stundenkreise von einem bestimmten Anfangskreise aus zählt, nämlich dem Kolur des Frühlingspunktes, so kann man auch die Meridiane des Erdsphäroides von einem Anfangsmeridian aus zählen. Die Wahl ist hier aber noch viel freier als am Himmel. Lediglich konventionelle Gründe haben hier zu reden. Als *Meridian von Ferro* hat lange der Meridian gegolten, welcher mit dem der Sternwarte zu Paris nach Westen einen Winkel von 20° macht. In Wahrheit geht dieser Meridian zwischen Ferro und Teneriffa hindurch. Er teilt die Erdoberfläche ziemlich übersichtlich in zwei Halbkugeln. Trotzdem wird man sich um so mehr für den *Meridian von Greenwich* entscheiden müssen, als auf das System dieses Meridians die im nächsten Kapitel zu besprechende Zonenzeit aufgebaut ist. — Man zählt vom Nullmeridian nach Osten bis 360° oder 24^h. Daß z. B. Petersburg

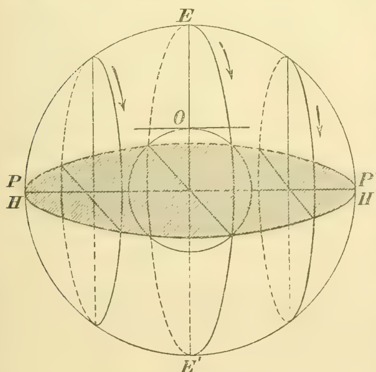


Fig. 26. Sphaera recta.

29° östlich von Greenwich liegt, bedeutet, daß alle Sterne für Petersburg 1h 56m Sternzeit eher kulminieren als für Greenwich. — Endlich sei noch bemerkt, daß die Bezeichnungen östliche und westliche Halbkugel bloß auf Übereinkunft beruhen; man könnte sie mit demselben Rechte umgekehrt anwenden.

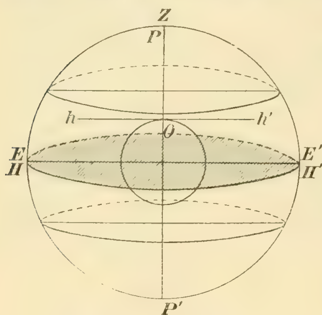


Fig. 27. Sphaera parallela.

Zur Erläuterung des in diesem und dem vorigen Kapitel Mitgeteilten geben wir noch die drei Bilder 26 bis 28, in denen H H′ den Horizont, P den Nordpol, P′ den Südpol und O den Beobachter andeutet. Ist dieser am Äquator der Erde, so hat er (Fig. 26) die sphaera recta oder senkrechte Himmelskugel: alle Tagebogen stehen zum Horizonte senkrecht, und die Pole stehen im Horizonte. Ist er an einem Pole, so hat er (Fig. 27) die parallele Himmelskugel, die sphaera parallela, wo die Tagebogen zum

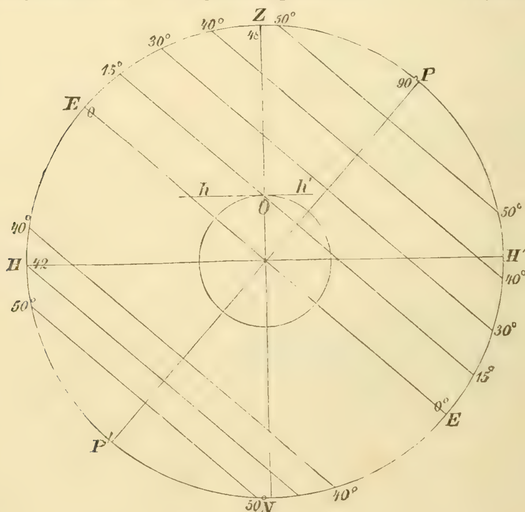


Fig. 28. Sphaera obliqua.

Horizonte parallel sind und die Pole in die Vertikale fallen. In jeder andern Breite hat er die schiefe Himmelskugel, sphaera obliqua genannt, wie sie in Fig. 28 für die Breite von 48° dargestellt ist. — Vgl. S. 49—50.

Wieder erhebt sich die schon am Ende des dritten Kapitels (S. 20) aufgetauchte Frage: Sollte es wirklich der Himmel sein, der sich dreht? Mit einem Blicke überschauen wir ja nun, daß eine Drehung der Erde um ihre Polarachse im entgegengesetzten Sinne, also für den nördlichen Beobachter gegen den Uhrzeiger, alles ebensogut erklären würde. Die Frage soll entschieden werden, nachdem wir noch die Erscheinungen betrachtet haben, die uns die Sonne, der Mond und die Planeten darbieten.

Achtes Kapitel.

Bewegungen der Sonne, des Mondes und der Planeten. — Das System der Ekliptik. — Wahre und mittlere Sonnenzeit; Sonnenuhren; astronomische und bürgerliche Stundenzählung. — Einheitszeit. — Datumsgrenze.

Schon öfter ist die Rede gewesen von den Himmelskörpern, die unter den Fixsternen Bewegungen auszuführen scheinen. Sie wurden von den Alten, die ihrer sieben kannten, als Planeten[1] oder Wandelsterne bezeichnet. Es sind der Mond ☾, Merkur ☿, Venus ♀, die Sonne ⊙, Mars ♂, Jupiter ♃, Saturn ♄. Die höchst merkwürdigen Bewegungen dieser Gestirne haben, solange man sie wissenschaftlich nicht zu deuten vermochte, vielfach dem Aberglauben gedient. Die vorstehende Reihenfolge hat einen später zu besprechenden sachlichen Grund. Durchläuft man sie beständig im umgekehrten Sinne und läßt die erste Stunde des ersten Tages der Woche von der Sonne regiert werden, die zweite von der Venus, die 3. vom ☿, die 4. vom ☾, die 5. vom ♄ u. s. w., so regiert der ☾ auch die 25. Stunde, also die erste des zweiten Wochentages, und auf die Anfangsstunden der folgenden Tage kommen ♂, ☿, ♃, ♀, ♄. Die Namen der Wochentage im Deutschen (wo Freyja für Venus, Zio für Mars, Thor für Jupiter und Wodan in Übereinstimmung mit Tacitus für Merkur eintritt, also „Gunstag“ = wednesday der Engländer) sowie im Englischen, Lateinischen und Französischen (mit Ausnahme von dimanche = dominica und Samstag = Sabbatstag = samedi; jedoch saturday, niederdeutsch Saoterdag = dies Saturni) erklären sich durch diese Spielerei. Man kürzt sie auch heute noch vielfach durch die Planetenzeichen ab. Die Alchimie wies den einzelnen Planeten bestimmte Metalle zu, denen sie auch dieselben Zeichen verlieh, nämlich ☿ = Quecksilber[2] — eine Bezeichnung, die sich noch erhalten hat —,

[1] Von πλανάομαι, irre umher.

[2] Starker Glanz und lebhafte Bewegung bei dem Stern und dem Metalle. Das Zeichen ist der Caduceus.

♀ = Kupfer[1], ♂ = Eisen[2], ♃ = Zinn[3], ♄ = Blei[4], während den edelsten Metallen Gold und Silber die Zeichen ☉ und ☾ der hellsten Gestirne zugetheilt wurden.

Zu diesen Planeten im Sinne der Alten ist später eine große Zahl von lichtschwächern Himmelskörpern mit ähnlichen Bewegungen gekommen, die das Fernrohr und die Camera entdeckt haben. Dagegen hat man den Begriff eines Planeten anders gefaßt, so daß Mond und Sonne jetzt nicht mehr dazu gehören.

Die tägliche Bewegung machen, wie schon früher betont, alle diese Himmelskörper mit; dabei scheint ihnen aber auch noch eine *Eigenbewegung* zuzukommen. Regulieren wir unsere Uhr nach Sternzeit und beobachten, wann eines Abends, von einem bestimmten Standorte aus gesehen, die Sonne im Westen hinter einem Dache verschwindet. Haben wir kein Fernrohr mit Blendglas[5], so schwärzen wir ein Stück Fensterglas, indem wir es über einer Kerzenflamme hin und her bewegen; hierbei ist darauf zu achten, daß sich der Belag vom einen zum andern Ende allmählich verdickt, wodurch das Glas bei verschiedenen Luftzuständen brauchbar wird. Auf dieses Glas wird ein ungeschwärztes mit den Rändern geleimt, um es zu schützen. Auch kann man ein rotes auf ein grünes Glas leimen, wodurch gleichfalls das Sonnenlicht merklich geschwächt wird. — Durch ein solches Schutzglas werde beobachtet, wann der vorausgehende untere Rand die Dachfirst berührt, und dann, wann es der nachfolgende obere Rand thut. Das Mittel aus diesen Zeiten gilt dann für den Mittelpunkt der Sonnenscheibe. Auch merke man sich die Stelle, an der die Dachfirst berührt wird. Sie wird für den vorausgehenden Rand natürlich etwas mehr nach links liegen. Das Mittel giebt wieder die Durchgangsstelle der Sonnenmitte.

Wäre die Sonne ein Fixstern, so würde sich diese Erscheinung täglich wiederholen, immer wieder nach 24^h Sternzeit ginge ihre Mitte durch dieselbe Stelle der Dachfirst. Stellen wir aber am folgenden Tage die Beobachtung wieder an, so zeigen sich zwei Änderungen: 1. die Sonne braucht mehr als 24^h Sternzeit, und zwar im Durchschnitt $3^m\ 57^s$ mehr, um wieder

---

[1] Κύπρις die Göttin von Cypern, χαλκὸς κύπριος das dort gewonnene Metall. Das Zeichen ist ein Kupferspiegel mit Handgriff als Attribut der Schönheitsgöttin.

[2] Dem Kriegsgotte zugewiesen; die rote Farbe des Planeten kann auch an Eisenverbindungen (wie Fe_2O_3) als Färbemittel erinnern. Zeichen: Schild mit Lanze.

[3] Beziehung unklar. Das Zeichen wohl aus Ζεύς entstanden.

[4] Matter Glanz, geringe Beweglichkeit. Das Bild soll die Sichel des Zeitengottes bedeuten.

[5] Für wenige Groschen liefert jeder Optiker, auch für einen Feldstecher oder ein Opernglas, eine solche Blende. Die Genauigkeit läßt sich dadurch sehr erhöhen. An Fernrohren bringt man zur Schwächung des Sonnenlichtes die sogen. *helioskopischen Okulare* an, die die hier nicht zu besprechende Polarisation des Lichtes benutzen.

an die Dachfirst zu kommen; 2. sie geht durch eine andere Stelle der First. Das ist besonders nach mehreren Tagen höchst auffallend, es sei denn daß wir den Versuch um den 21. Juni oder 21. December angestellt haben; in diesen Zeiten ist die zweite Änderung sehr gering, die erste aber durchaus merkbar. Beide Änderungen sind besonders groß um den 20. März und den 23. September. Die erste Änderung tritt auch ein, wenn wir das Aufsteigen der Morgensonne beobachten; die zweite ebenfalls, nur im umgekehrten Sinne des Abenddurchganges; nämlich eine Verschiebung nach rechts, wenn die Abendbeobachtungen eine solche nach links ergeben, und umgekehrt.

Daß die Sonne kein Fixstern in dem mehrfach von uns erörterten Sinne[1] ist, ergiebt sich unzweideutig aus diesen Wahrnehmungen. Ihre Rektascension nimmt beständig zu, weil sich ihr Auf- und Untergang beständig verspätet; und auch die Deklination ändert sich; denn bliebe diese konstant, so müßte die Sonne stets an derselben Stelle unter- oder aufgehen. Um die Sache genauer zu verfolgen, beobachte man mit dem Theodoliten die obern Kulminationen der Sonne oder die wahren Mittage nach einer auf Sternzeit regulierten Uhr[2]. Es wird sich wieder zeigen, daß die Rektascension, die, wie wir wissen, mit der Sternzeit der obern Kulmination identisch ist, beständig zunimmt, und zwar täglich um eine Größe, die zwischen $3^1/_2$ und $4^1/_2$ Zeitminuten schwankt, im Mittel aber gleich $3^m\ 57^s$ ist. Auch die Schwankung der Deklination verrät sich, und zwar durch die veränderliche Mittagshöhe (die nach unsern gewöhnlichen Bezeichnungen gleich $90^0 - \varphi + \delta$ ist). Bezeichnet man den jeweiligen Sonnenort auf einem mit Gradnetz versehenen Himmelsglobus, dann zeigt sich, daß die Sonne im Verlaufe von $365^1/_4$ Tagen einen Hauptkreis an der Sphäre beschreibt. Mit andern Worten, es läßt sich durch das Centrum der Himmelskugel eine Ebene legen; diese Ebene macht die tägliche Bewegung der Sphäre mit; die Richtungslinie zur Sonne dreht sich in dieser Ebene so herum, daß sie in $365^1/_4$ Tagen oder einem Jahre einmal herumkommt. Es ist müßig, zu untersuchen, welche Bewegung die Sonne im ganzen in Bezug auf den irdischen Beobachter zu machen scheint; man erhält, wenn man will, eine Art Schraubenlinie durch die Zusammen-

[1] Der Leser, welcher sonst gelernt hat, die Sonne sei doch ein Fixstern, lasse sich nicht beirren. Sie ist es in Bezug auf die Wesensverwandtschaft zu diesen Himmelskörpern; aber da sie ihren Ort unter den Fixsternen ändert, dürfen wir sie zunächst nicht zu diesen rechnen.

[2] Hat man den Meridian, so genügt es, die Durchgänge bekannter Sterne durch ihn zu beobachten; ihre Rektascension ist gleich der Sternzeit. Man beachte, daß die meisten Uhren nur bis 12^h zählen; gegebenenfalls hat man zu ihren Angaben 12^h zu addieren, z. B. 17^h statt 5^h zu setzen.

setzung der jährlichen Bewegung mit der täglichen. Einfacher ist es, die Bewegungen sofort zu trennen. Jener Hauptkreis wird, wie früher gesagt, Ekliptik genannt. Er geht durch die zwölf Sternbilder Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische (Gedächtnisverse des Ausonius: Sunt aries, taurus, gemini, cancer, leo, virgo; libraque, scorpius, arcitenens, caper, amphora [1], pisces.) Die meisten von diesen Sternbildern stellen Tiergestalten vor, daher der Name Tierkreis oder Zodiakus [2] für dieses Gebiet des Himmels. Die Sonne durchwandert die Ekliptik entgegengesetzt dem täglichen Himmelslaufe, also von rechts nach links für den Beobachter der nördlichen Erdhalbkugel. Genauere Beobachtungen zeigen, daß die Geschwindigkeit ihres Laufes um den 1. Januar am größten, um den 1. Juli am kleinsten ist. Die Messung ihres Winkeldurchmessers zeigt, daß sie uns zur Zeit ihrer größten Geschwindigkeit am größten erscheint (Durchmesser 32′ 32″) und zur Zeit ihrer kleinsten Geschwindigkeit am kleinsten (Durchmesser 31′ 28″). Ihre Entfernung von der Erde scheint also einem regelmäßigen Wechsel zu unterliegen, und der Kreis, den sie um die Erde zu beschreiben scheint, darf jedenfalls nur im sphärischen Sinne als Kreis gelten; mit andern Worten: ihre Bahn liegt in einer festen durch die Erde gehenden Ebene; diese schneidet die Äquatorebene längs einer geraden Linie, die an der Sphäre die früher schon erörterten Äquinoktialpunkte, den Frühlings- und den Herbstpunkt, angiebt.

Hiernach ist es klar, daß die Ekliptik auf einem Erdglobus nicht dargestellt werden darf. Sie hat dort gar keinen Sinn, und da der Verfertiger genötigt ist, ihre Durchschnittspunkte mit dem irdischen Äquator willkürlich festzusetzen, etwa auf 0^0 und 180^0 östl. Länge v. Gr., so veranlaßt er bei Unkundigen große Mißverständnisse. Dagegen gehört die Ekliptik auf den Himmelsglobus. Sie schneidet den Äquator des Himmels unter einem Winkel, der zur Zeit $23^0\,27'$ beträgt. Sie ist ein sphärischer Hauptkreis wie der Äquator, daher auf dem Globus auch von derselben Größe wie dieser. Daß sie auf unserer Sternkarte (Tafel III) etwas größer ausfällt, beruht auf der im fünften Kapitel (S. 32 unten) auseinandergesetzten Art des Entwurfes; wie man leicht sieht, ist es die südliche Hälfte, die stark vergrößert erscheint.

Zwei Hauptkreise der Kugel halbieren sich immer gegenseitig. So ist von dem Himmelsäquator stets die eine Hälfte über dem Horizont, die andere darunter; ebenso von dem galaktischen Äquator, und ebenso auch von der Ekliptik. Um 6^h Sternzeit kulminiert der nördlichste Punkt der Ekliptik, und zwar im mittleren Deutschland in einer Höhe von $50^0 + 23^1/_2{}^0 = 73^1/_2{}^0$;

[1] Für den Wassermann wird des Verses wegen sein Krug gesetzt.

[2] Von ζῴδιον, Tierchen, wird ὁ ζωδιακὸς κύκλος abgeleitet.

um 18^h ihr südlichster Punkt, und zwar ebendort in $50^0 - 23^1/_2{}^0 = 26^1/_2{}^0$ Winkelhöhe. Im ersten Falle steht die Ekliptik am steilsten, im zweiten Falle am flachsten für uns.

In der Gegend der Ekliptik scheinen sich auch der Mond und die Planeten zu bewegen, aber nicht streng in der Ekliptik selbst, und auch nicht so regelmäßig wie die Sonne. Es wird später unsere Aufgabe sein, diese Bewegungen näher kennen zu lernen.

Die Stellung der Sonne zum Horizonte ist von so großer Bedeutung für das tägliche Leben, daß sie von allen Völkern der Zeiteinteilung zu Grunde gelegt wird. Nehmen wir zuerst an, die Sonne bewege sich nicht mit veränderlicher Geschwindigkeit in der Ekliptik, sondern mit konstanter Geschwindigkeit im Himmelsäquator, so zwar, daß sie diesen in $365^1/_4$ Tagen durchlaufe. Dann ist es klar, daß ihre Rektascension täglich genau um $\frac{360}{365^1/_4}$ Winkelgrade, also um etwas weniger als einen Grad, wachsen wird; die Sternzeit der obern Kulmination der Sonne oder der Mittag würde sich um denselben Betrag täglich verspäten, nämlich, auf Zeitmaß umgerechnet, um $3^m\ 57^s$. Stände die Sonne einmal im Frühlingspunkte, so wäre in diesem Augenblicke die Sonnenzeit, d. h. der Stundenwinkel der Sonne, einfach gleich der Sternzeit; einen Tag später wäre die Sternzeit der Sonnenzeit um $3^m\ 57^s$ voraus, zwei Tage später um $7^m\ 54^s$ u. s. w., nach einem Jahre um volle 24^h, d. h. es fielen dann wieder Sonnenzeit und Sternzeit zusammen.

Thatsächlich ändert sich nun die Sache nicht so einfach. Errichten wir auf der Ebene der Ekliptik eine Senkrechte, die Achse der Ekliptik, so bestimmt diese an der Sphäre zwei Punkte, die unter den Sternen festliegen, ihre Stellung zum Horizonte also beständig ändern. Der eine, in der Rektascension 18^h und der Deklination $+ 66^1/_2{}^0$, ist der Nordpol der Ekliptik, der andere, in 6^h und $- 66^1/_2{}^0$, der Südpol der Ekliptik. Jener liegt ungefähr zwischen dem Polarstern und dem Kopfe des Drachen[1]; vergleiche unsere Karte der Circumpolarsterne.

Eine Ebene, die man durch einen Stern und die Achse der Ekliptik legt, schneidet aus der Sphäre einen Hauptkreis, den Breitenkreis des Sternes. Der Winkelabstand des Sternes auf der Ekliptik, auf diesem Kreise gemessen, heißt die Breite des Sternes, und zwar positive oder negative, je nachdem der Stern auf der nördlichen oder südlichen Seite der Ekliptik liegt. Von diesen Breitenkreisen nimmt man einen als Anfangs-

[1] Nord- und Südpunkt des Horizontes stehen fest für den Beobachter, aber nicht unter den Sternen; Nord- und Südpol der Ekliptik unter den Sternen, aber nicht für den Beobachter; Nord- und Südpol des Äquators stehen fest zum Beobachter und zu den Sternen.

kreis, nämlich den Breitenkreis des Frühlingspunktes; den Winkel, den der Breitenkreis eines Sternes mit diesem Anfangskreise macht, zählt man im Sinne des jährlichen Sonnenlaufes von 0° bis 360° und nennt ihn die Länge des Sternes. Man darf diese Bezeichnungen nicht mit der geographischen Länge und Breite verwechseln, die ja viel mehr mit der Rektascension und Deklination zu thun haben. Die Längen und Breiten liegen einem neuen Koordinatensysteme zu Grunde, dem Systeme der Ekliptik. Wir kennen also bis jetzt vier Systeme: 1. das der Azimute und Höhen; 2. das der Stundenwinkel und Deklinationen; 3. das der Rektascensionen und Deklinationen; 4. das der Längen und Breiten[1].

Da sich die Sonne in der Ekliptik bewegt, so ist ihre Breite stets gleich null[2], während ihre Länge, die am 20. März gleichfalls null ist, beständig wächst, bis sie bei 360° wieder null wird. Man beachte nun, daß die Länge keineswegs mit der Rektascension verwechselt werden darf; jene gehört ja zum Systeme der Ekliptik, diese zum System des Äquators. Obgleich im ganzen Jahre die Längen und die Rektascensionen beide um 360° wachsen, ist doch das Wachstum in den einzelnen Jahreszeiten nicht dasselbe. Viermal im Jahre kann man allerdings die Länge der Sonne gleich ihrer Rektascension setzen: wenn sie nämlich die Werte 0°, 90°, 180°, 270° hat. Dagegen steht in den Äquinoktien, also gerade bei 0° und 180° Länge oder Rektascension, die Richtung der Sonnenbahn so schief zum Äquator, daß einem großen Längenzuwachse nur ein mäßiger Rektascensionszuwachs entspricht, also nur eine geringe Mittagsverspätung gegen den vorigen Tag, damit also eine geringe Länge des wahren Sonnentages, den man von Mittag zu Mittag rechnet. Das wird in den Solstitien, d. h. in der Gegend des höchsten und tiefsten Ekliptikalpunktes, bei 90° und 270°, wieder ausgeglichen, wo einem kleinen Längenzuwachse ein größerer Rektascensionszuwachs entspricht.

Die Tageslängen sind also in einer beständigen Änderung begriffen. Nun kommt noch hinzu, daß, wie früher (S. 66) bereits erwähnt wurde, auch nicht einmal die Stellung der Sonne in der Ekliptik, d. h. ihre Länge, ein regelmäßiges Wachstum besitzt. Vielmehr wächst sie bei 100° (um den 1. Juli) am langsamsten, bei 280° (um Neujahr) am schnellsten. Diese zweite Ursache macht nicht so viel aus als die erste; bemerkbar wird sie aber doch.

Die wahre Sonnenzeit besitzt also, sehr zum Unterschiede von der Sternzeit, kein völlig gleichförmiges Wachstum. Darum können ihr die mechanischen

---

[1] Ein fünftes, das galaktocentrische System, wird später besprochen werden; es hat besonders für kosmologische Untersuchungen Bedeutung.

[2] Eine kleine Einschränkung dieser Behauptung wird sich später ergeben.

Uhren nicht folgen, während die gleichmäßige Änderung der Sternzeit durch den täglichen Himmelsumlauf eine durchaus feststehende, von jeder guten Uhr beständig verbürgte Thatsache ist.

Beobachten läßt sich die wahre Sonnenzeit am einfachsten mit der Sonnenuhr. Wird ein Stab so aufgestellt, daß er der Weltachse parallel ist, also an seinem Befestigungsorte einfach als Weltachse gelten kann, so bestimmt die Sonne mit diesem Stabe eine Ebene, die wir unsern frühern Erklärungen gemäß als Stundenebene der Sonne aufzufassen haben. Sie ist aber offenbar auch die Schattenebene des Stabes. Konstruieren wir diese Ebene für alle 24 Stunden des wahren Sonnentages, so können wir ihre Durchschnittslinien mit einer für den Beobachter festen Ebene ein für allemal festlegen; man sieht dann, daß etwa in die mit 3 bezeichnete Ebene der Schatten immer um 3^h wahrer Sonnenzeit, 3 Stunden nach dem wahren Mittage, fallen muß, und zwar ganz unabhängig von der Jahreszeit. Wählt man die Ebene des Äquators als Zifferblattebene, so steht der schattenwerfende Stab senkrecht auf ihr, und die Stundenlinien bilden miteinander gleiche Winkel. Man kann auch einen cylindrischen Äquatorialring anbringen, dessen Achse der Stab ist; der Schatten wandert dann mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch die Innenfläche des Ringes. Andere Konstruktionen der Sonnenuhr sollen später besprochen werden.

Die wahre Sonnenzeit oder der Stundenwinkel der Sonne wächst nun, wie mehrfach bemerkt, ungleichmäßig. Doch ist diese Ungleichmäßigkeit so gering, daß sie noch vor hundertundfünfzig Jahren für die Verrichtungen des täglichen Lebens bedeutungslos war. Den Astronomen war sie jedoch immer unbequem, und um die Wende des Jahrhunderts gelang ihnen die Einführung ihrer künstlichen mittlern Sonnenzeit auch beim großen Publikum. Der berühmte Gothaer Astronomenkongreß von 1798 beschloß ihre ausschließliche Anwendung für astronomische Vorausberechnungen; indessen war schon um 1780 in Genf mit der Verkündigung des mittleren Mittags durch ein Glockenzeichen begonnen worden; im Jahre 1810 schloß sich Berlin an, 1816 Paris, 1832 Zürich.

Um zu dem Begriffe der mittleren Sonnenzeit zu gelangen, denken wir uns eine mittlere Sonne, die zwar auch in $365^1/_4$ Tagen um die Erde kreist wie die wahre Sonne, aber im Äquator des Himmels, nicht in der Ekliptik, und mit konstanter, nicht mit veränderlicher Geschwindigkeit. Die Rektascension einer solchen Sonne wird täglich regelmäßig um $3^m\ 57^s$ wachsen, damit aber auch die Sternzeit ihrer Kulmination oder die Sternzeit im mittlern Mittag. Man giebt dieser erdichteten mittlern Sonne in einem bestimmten Augenblicke eine solche Stellung, daß ihre Abweichungen von der wahren Sonne das ganze Jahr hindurch möglichst gering bleiben. Der Stundenwinkel der mittlern Sonne an einem bestimmten

Beobachtungsorte heißt mittlere Sonnenzeit des Ortes oder mittlere Ortszeit; da er mit konstanter Geschwindigkeit wächst, kann man ihn mit mechanischen Werkzeugen, mit Räderuhren, messen so gut wie die Sternzeit, die auch gleichmäßig, nur mit etwas größerer Geschwindigkeit, wächst.

Um den Begriff der mittlern Sonne noch schärfer zu bestimmen, stellen wir uns drei verschiedene Sonnen S_1, S_2 und S_3 vor. Hier ist S_1 die wahre Sonne; sie läuft durch die Ekliptik mit einer sich beständig ändernden Geschwindigkeit, die am 1. Juli ihren geringsten, am 1. Januar ihren größten Wert hat. Für den vollständigen Umlauf braucht sie, wie wir wissen, $365^1/_4$ Tage. Dann erdichten wir eine zweite Sonne S_2, die die Ekliptik gleichfalls in $365^1/_4$ Tagen durchläuft, aber mit konstanter Geschwindigkeit. Diese Sonne S_2 fällt immer am 1. Januar und am 1. Juli mit S_1 zusammen; im übrigen bleibt sie in der ersten Jahreshälfte hinter S_1 zurück und ist ihr in der zweiten Jahreshälfte voraus. Endlich erdichten wir eine dritte Sonne S_3; diese läuft mit konstanter Geschwindigkeit in $365^1/_4$ Tagen durch den ganzen Äquator, und wir setzen fest, daß sie in den Äquinoktien, also am 20. März und am 23. September, wo sie die Ekliptik schneidet, mit S_2 zusammenfallen soll. Diese dritte Sonne S_3 ist die mittlere Sonne, und ihr Stundenwinkel heißt die mittlere Zeit.

Der Unterschied zwischen mittlerer und wahrer Zeit wird die Zeitgleichung genannt. Ist sie positiv, so ist die mittlere Sonne in der täglichen Bewegung voraus, im entgegengesetzten Falle die wahre. Mit Rücksicht auf ihr Vorzeichen zur wahren Zeit addiert, ergiebt die Zeitgleichung die mittlere Zeit; von der mittlern abgezogen ergiebt sie die wahre.

Wenn das bürgerliche Jahr gleich dem natürlichen wäre, müßten sich alle Jahre die Verhältnisse genau wiederholen. Bekanntlich ist es aber meistens gleich 365, zuweilen gleich 366 vollen Tagen. Darum steht z. B. am Mittage des 1. Juli 1899 die Sonne nicht ganz genau in dem Punkte der Ekliptik, wo sie am Mittage des 1. Juli 1898 gestanden hat. Die Tafel der Zeitgleichung muß also von Jahr zu Jahr ein wenig geändert werden; die im folgenden mitgeteilten Werte beziehen sich genau auf 1898, können jedoch mit geringen Fehlern auch in andern Jahren gebraucht werden (siehe die nebenstehende Tabelle).

Wie man sieht, ist die Abweichung der mittlern Sonnenzeit von der wahren im ganzen gering. Wir haben sie von 5 zu 5 Tagen angegeben; für die zwischenliegenden Tage läßt sie sich leicht interpolieren. Hinzugefügt haben wir die Länge der Sonne sowie die Sternzeit im mittlern Mittag; die Angaben sind gleichfalls für 1898 genau gültig, aber auch für andere Jahre ohne erheblichen Fehler brauchbar. Man hat nämlich für jedes der 5 folgenden Jahre etwa eine Minute von den Sternzeiten abzu-

Sonnenlänge, Zeitgleichung, Sonnendeklination und Sternzeit im mittlern Mittage.

Für das Jahr 1898 und den Meridian von Berlin. — Nach dem Berliner Astronomischen Jahrbuche.

Tag.	Sonnenlänge.	Zeitgleichung.	Deklination.	Sternzeit.
Jan. 1.	281° 8′	+ 3m 54s	— 22° 59′	18h 44m
„ 6.	286 13	6 10	22 28	19 4
„ 11.	291 19	8 15	21 46	19 24
„ 16.	296 24	10 4	20 53	19 44
„ 21.	301 30	11 36	19 50	20 3
„ 26.	306 35	12 50	18 38	20 23
„ 31.	311 39	13 43	17 18	20 43
Febr. 5.	316 43	14 15	15 50	21 2
„ 10.	321 47	14 26	14 15	21 22
„ 15.	326 50	14 19	12 34	21 42
„ 20.	331 53	13 54	10 49	22 2
„ 25.	336 54	13 13	8 59	22 21
März 2.	341 55	12 17	7 5	22 41
„ 7.	346 56	11 9	5 10	23 1
„ 12.	351 55	9 50	3 12	23 20
„ 17.	356 54	8 25	— 1 14	23 40
„ 22.	1 52	6 56	+ 0 45	0 0
„ 27.	6 49	5 24	2 42	0 20
April 1.	11 45	3 53	4 39	0 39
„ 6.	16 40	2 24	6 33	0 59
„ 11.	21 34	+ 1 0	8 25	1 19
„ 16.	26 28	— 0 16	10 13	1 38
„ 21.	31 21	1 23	11 57	1 58
„ 26.	36 13	2 18	13 36	2 18

Tag.	Sonnenlänge.	Zeitgleichung.	Deklination.	Sternzeit.
Mai 1.	41° 4′	— 3m 2s	+ 15° 9′	2h 38m
„ 6.	45 55	3 32	16 37	2 57
„ 11.	50 44	3 49	17 57	3 17
„ 16.	55 33	3 50	19 10	3 37
„ 21.	60 22	3 38	20 14	3 56
„ 26.	65 10	3 11	21 11	4 16
„ 31.	69 58	2 34	21 57	4 36
Juni 5.	74 45	1 46	22 35	4 56
„ 10.	79 32	— 0 50	23 2	5 15
„ 15.	84 18	+ 0 12	23 20	5 35
„ 20.	89 5	1 17	23 27	5 55
„ 25.	93 51	2 22	23 24	6 14
„ 30.	98 37	3 23	23 10	6 34
Juli 5.	103 23	4 18	22 47	6 54
„ 10.	108 9	5 5	22 13	7 14
„ 15.	112 55	5 42	21 30	7 33
„ 20.	117 41	6 6	20 38	7 53
„ 25.	122 28	6 17	19 37	8 13
„ 30.	127 15	6 12	18 28	8 32
Aug. 4.	132 2	5 52	17 12	8 52
„ 9.	136 49	5 17	15 48	9 12
„ 14.	141 37	4 28	14 18	9 32
„ 19.	146 26	3 26	12 42	9 51
„ 24.	151 15	2 12	11 2	10 11
„ 29.	156 5	0 47	9 17	10 31

Tag.	Sonnenlänge.	Zeitgleichung.	Deklination.	Sternzeit.
Sept. 3.	160° 56′	— 0m 47s	+ 7° 28′	10h 50m
„ 8.	165 47	2 27	5 36	11 10
„ 13.	170 39	4 11	3 42	11 30
„ 18.	175 32	5 57	+ 1 47	11 50
„ 23.	180 25	7 42	— 0 10	12 9
„ 28.	185 20	9 24	2 7	12 29
Okt. 3.	190 15	11 0	4 4	12 49
„ 8.	195 11	12 28	5 59	13 8
„ 13.	200 8	13 45	7 52	13 28
„ 18.	205 6	14 48	9 43	13 48
„ 23.	210 4	15 36	11 30	14 8
„ 28.	215 4	16 7	13 13	14 27
Nov. 2.	220 4	16 20	14 51	14 47
„ 7.	225 5	16 12	16 22	15 7
„ 12.	230 7	15 42	17 47	15 26
„ 17.	235 9	14 52	19 4	15 46
„ 22.	240 12	13 40	20 12	16 6
„ 27.	245 16	12 10	21 11	16 26
Dez. 2.	250 20	10 22	22 1	16 45
„ 7.	255 24	8 18	22 39	17 5
„ 12.	260 29	6 2	23 7	17 25
„ 17.	265 35	3 36	23 23	17 44
„ 22.	270 40	— 1 7	23 27	18 4
„ 27.	275 46	+ 1 22	23 20	18 24
„ 32.	280 52	3 46	23 0	18 44

ziehen, also z. B. 3 Minuten für 1901. Die Zeitgleichung ändert sich noch weniger. Für die Sonnenlängen ziehe man in den 5 folgenden Jahren je $14^1/_2$ Minuten ab. Alle Angaben beziehen sich auf den Meridian von Berlin, sind jedoch auch im übrigen Deutschland sehr genau richtig. Endlich fügen wir noch die Deklination der Sonne bei.

Betrachten wir nun zunächst den Gang der Sonnenlänge, so zeigt sich deutlich das Maximum ihrer Zunahme um Neujahr, das Minimum zu Anfang Juli. Der Frühlingspunkt wird im März erreicht, und der Zeitpunkt läßt sich leicht genauer festsetzen. Vom 17. zum 22. März sind 5 Tage, in denen die Länge um $4^0\ 58'$ oder $298'$ wächst; macht $59',6$ für den Tag. Soll die Länge $360^0\ 0'$ werden, also vom 17. März an um $3^0\ 6'$ oder um $186'$ wachsen, so gehen dazu $186 : 59,6$ Tage oder $4464^h : 59,6 = 74^h,90 = 3^d\ 2^h\ 54^m$; das Frühlings-Äquinoktium oder die Frühlingsnachtgleiche, d. h. der Zeitpunkt, wo die Sonne zum erstenmal im Äquator steht, daher auf der ganzen Erde die Nacht dem Tage gleich macht, wird also erreicht am 20. März $2^h\ 54^m$ nach dem mittlern Berliner Mittage. Leicht ist es, hiernach auch das Herbst-Äquinox, wo die Sonne den Äquator zum zweitenmal kreuzt, zu bestimmen.

Am 32. Dezember 1898, d. h. am 1. Januar 1899, wird mittags eine etwas kleinere Sonnenlänge beobachtet als am 1. Januar 1898. Der Grund ist klar: der ganze Umlauf durch die Ekliptik vollzieht sich erst in $365^1/_4$ Tagen. Wir haben oben angegeben, daß für jedes Jahr $14^1/_2{}'$ abzuziehen seien; es gilt das durchschnittlich, aber zur Neujahrszeit, wo sich die Sonne am schnellsten bewegt, macht es etwas mehr aus.

Die Sternzeit im mittlern Mittage wächst gleichmäßig jeden Tag um $3^m\ 56^s,091$; in unserer Tabelle ist sie auf ganze Minuten abgerundet, so daß bald 19, bald 20 Minuten auf die 5 Tage kommen. Die mittlere Zeit wird, gleich der Sternzeit, von 0^h bis 24^h gezählt; 0^h ist die Kulminationszeit der mittlern Sonne oder der mittlere Mittag. Mit Hilfe der Tafel kann man für jede Stunde des Jahres die Sternzeit angeben. So erhält man für 6^h mittlerer Zeit am 24. November $16^h\ 6^m + 3^m\ 56^s\ (2 + {}^1/_4) = 16^h\ 6^m + 8^m\ 51^s = 16^h\ 15^m$ Sternzeit. Nach der Sternzeit richtet sich, wie wir aus den frühern Kapiteln wissen, die Lage des Sternenhimmels zum Horizonte des Beobachters. Diese Lage kann also mit Hilfe der Tafel für jede Stunde des Jahres auf die Zeitminute oder den Viertelgrad genau ermittelt werden.

Die wahre Sonne ist zu Anfang des Jahres etwas hinter der mittlern zurück. Der wahre Mittag am 1. Januar 1898 tritt ein um $0^h\ 3^m\ 54^s$ mittlerer Zeit, wie die Tafel angiebt[1]. Dann verspätet er sich immer mehr,

[1] Der Strenge halber sei bemerkt, daß die Tafel der Zeitgleichung eigentlich für den wahren Berliner Mittag gilt und nicht für den mittlern. Die Zeitgleichung

denn einmal erleidet, wie wir wissen, die Sonne um diese Zeit eine etwas stärkere Zunahme der Rektascension als der Länge, und dann ist das Längenwachstum schon an sich groß. Indessen kommt die Sonne allmählich in die Gegenden der Ekliptik, wo der Rektascensionszuwachs merklich schwächer als der Längenzuwachs ist. Am 10. und 11. Februar ist die Zeitgleichung, genauer angegeben, gleich $+ 14^m 26^s,43$, so daß zwischen diesen beiden Mittagen die wahre Sonnenzeit auf die Hundertstelsekunde genau ebenso schnell fortschreitet wie die mittlere. Zwischen diesen beiden Kulminationen wird also eine gute Uhr genau 24^h Zwischenzeit ergeben. Nun aber beginnen sich die wahren Mittage zu verfrühen: die Sonnenrektascension wächst langsamer und damit auch die Sternzeit ihrer wahren Kulmination[1]; die Sternzeit der mittlern Kulmination wächst gleichmäßig, die wahre verfrüht sich also. Am 15. April ist die mittlere Sonne von der wahren eingeholt worden, die Zeitgleichung ist für einen Augenblick null. Sie wird nun negativ, d. h. der wahre Mittag tritt vor dem mittlern ein, am frühesten Mai 14.; an diesem Tage beträgt die Zeitgleichung $- 3^m 51^s$, d. h. es tritt der wahre Mittag bereits um $23^h 56^m 9^s$ mittlerer Zeit ein. Die wahren Tage werden nun wieder länger, so daß der Unterschied kleiner wird. Juni 14. geht die Zeitgleichung wieder durch null hindurch, um positiv zu werden. Als solche erreicht sie Juli 26. ihr zweites Maximum von $+ 6^m 17^s$. Nun macht sich die langsamere Rektascensionszunahme, die auch noch von einer langsamen Längenzunahme herrührt, für lange Zeit geltend: die wahren Tage verkürzen sich allmählich immer schneller; September 1. geht die Zeitgleichung durch den Nullwert, November 3. wird das negative Maximum von $- 16^m 20^s$ erreicht[2]. Da nun die Annäherung der Länge an 270^0 und ihre starke eigene Zunahme einen erheblichen Rektascensionszuwachs herbeizuführen beginnt, sehen wir die wahren Tage wieder länger werden; der 24. Dezember, wo die Zeitgleichung wieder durch null geht, ist der längste wahre Tag[3] im Jahre ($24^h 0^m 30^s$ mittlerer Zeit). Sie wird nun wieder positiv; weshalb Dezember 32. ein etwas anderer Wert herauskommt

---

ändert sich von Tag zu Tag, und so ist sie auch am mittlern und am wahren Mittage eines Tages nicht dieselbe. Der Unterschied ist jedoch äußerst gering; denn gerade wenn sich die Zeitgleichung am stärksten ändert, fallen die beiden Mittage beinahe zusammen, und wenn sie weit auseinander fallen, ist die Änderung gering. Die Zeitsekunde wird noch lange nicht fehlerhaft.

[1] Beachte, daß die in der Tafel angegebenen Sternzeiten der Kulmination der mittlern Sonne entsprechen.

[2] Der Tafel nach schon Nov. 2. In den Maximis ist die Änderung gering. — Die genauen Werte für Nov. 2., 3. und 4. sind $19^s,81$, $19^s,89$ und $19^s,14$.

[3] Der Tag im andern Sinne, nämlich vom Aufgange bis zum Untergange der Sonne, ist gerade um diese Zeit für die Nordhalbkugel am kürzesten.

als Januar 1., ist nach dem Vorausgegangenen klar. — Unsere Fig. 29, die sich auf ein anderes Jahr bezieht, daher ein klein wenig in den Zahlen abweicht, stellt den Verlauf graphisch dar.

Im folgenden Kapitel wird gezeigt werden, wie man die Rektascension der Sonne aus ihrer Länge berechnet; das hat geschehen müssen, ehe man die Zeitgleichung berechnen konnte. Umgekehrt kann man aus unserer Tabelle die Sonnenrektascension annähernd finden. Fragen wir z. B. für den 21. August nach dem Sonnenorte. Wir haben August 19. als Rektascension der mittlern Sonne, nämlich als Sternzeit im mittlern Mittage, $9^h\ 51^m$; der wahre Mittag tritt $3^m\ 26^s$ später ein, die wahre Sonne hat also die größere Rektascension $9^h\ 54^m\ 26^s$. Für August 24. finden wir ebenso $10^h\ 13^m\ 12^s$: Zunahme in 5 Tagen $18^m\ 26^s = 1126^s$, in zwei Tagen also $450^s,4$ [1] $= 7^m\ 30^s,4$; giebt, zu $9^h\ 54^m\ 36^s$ addiert, $10^h\ 2^m$ [2] als Sonnenrektascension für den Mittag des 21. August. Haben wir am Rande der Sternkarte diese Rektascension aufgesucht, so brauchen wir nur noch den gefundenen Punkt durch eine gerade Linie, den Deklinationskreis, mit dem Pole der Karte zu verbinden; wo sie die Ekliptik schneidet, da ist der wahre Sonnenort, nämlich bei α Leonis (Regulus). Wie man sieht, ist die Angabe der Deklination hier überflüssig. — Für den 8. Dezember, wo die Zeitgleichung negativ ist, erhält man als Sonnenrektascension $17^h\ 1^m$.

* * *

Die mittlere Zeit ist eine künstliche, theoretisch konstruierte Größe, die uns aber den Vorteil bietet, mit einem konstanten Zeitmaße rechnen zu können, ohne daß wir uns von der durch die Sonne gegebenen natürlichen Einteilung allzusehr entfernen müßten. Benutzten wir das eigentliche Naturmaß, nämlich die Sternzeit, so müßten wir uns dieses Vorteiles begeben; denn wir würden dann jeden Tag $3^m\ 56^s$ später die gewohnten Thätigkeiten beginnen müssen als am Tage vorher. So liegt denn die mittlere Sonnenzeit auch den meisten Zeitangaben der Astronomen zu Grunde; nur dann, wenn die Stellung eines Sternes zum Horizonte in Betracht kommt, ist man manchmal genötigt, auch die Sternzeit anzugeben; aber selbst dann, z. B. bei Untersuchungen über den Lichtwechsel der Fixsterne, werden grundsätzlich die Beobachtungen nach mittlerer Zeit notiert, und man leitet daraus, etwa mit Hilfe einer Tabelle wie S. 71, die Sternzeiten ab. Die mittlere Zeit hängt eben auch mit der Zeitrechnung im großen, der Chronologie,

[1] Man schließe von 5 auf 10, von 10 auf 1, von 1 auf 2, dann ist die Rechnung leicht im Kopfe gemacht.

[2] Weil die Sternzeiten auf ganze Minuten abgerundet sind, kann auch das Endergebnis höchstens so weit verbürgt werden.

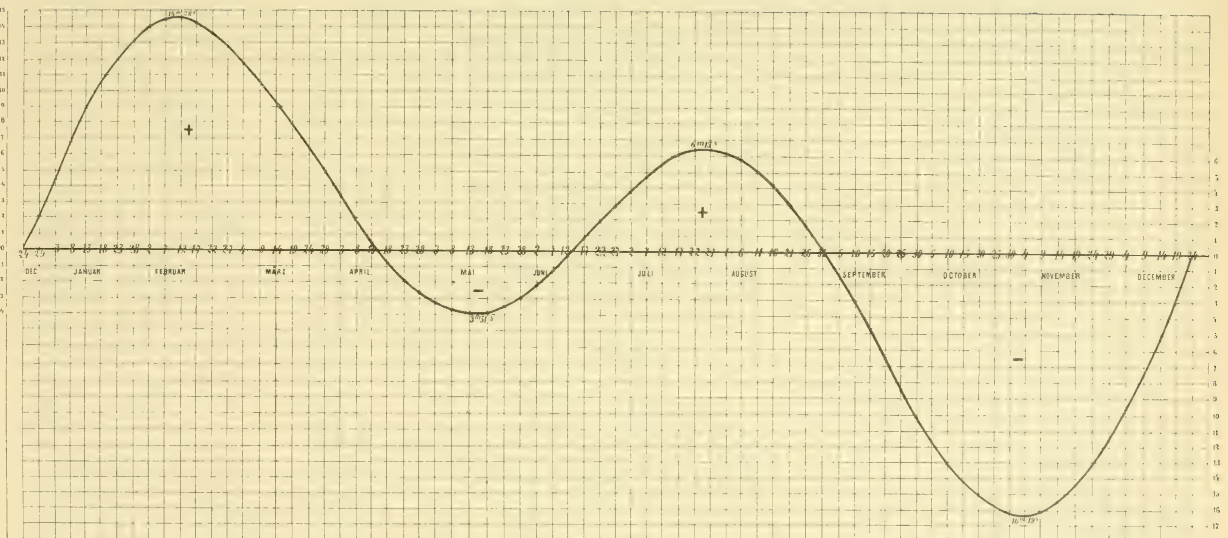


Fig. 29. Kurve der Zeitgleichung. (Nach Epstein, Geonomie. Wien 1888.)

auf einfachste Weise zusammen; denn hier bildet der mittlere Tag die Einheit der Zählung.

Sternzeit, wahre und mittlere Zeit werden alle drei von 0^h bis 24^h gezählt; 0^h Sternzeit ist die Kulminationszeit des Frühlingspunktes, 0^h wahrer Zeit der wahre Mittag, 0^h mittlerer Zeit der mittlere Mittag. Um 12^h Sternzeit kulminiert der Herbstpunkt; für 12^h wahrer und mittlerer Zeit sagt man auch wahre und mittlere Mitternacht.

Orte, die auf demselben Meridian liegen, haben dieselben Sternzeiten, dieselben wahren und dieselben mittlern Zeiten. Orte auf verschiedenen Meridianen (vgl. Kap. 7 am Ende) unterscheiden sich nach allen drei Zeitrechnungen in derselben Weise. Wenn man also z. B. weiß, daß New York $272^0\,37'\,51''$ oder $18^h\,10^m\,31^s,40$ östlich von Berlin liegt, so weiß man auch, 1. daß die augenblickliche Sternzeit von New York gefunden wird, wenn man zur Berliner Sternzeit $18^h\,10^m\,31^s,40$ addiert; ist diese also etwa $7^h\,53^m\,42^s,53$, so ist die New Yorker Sternzeit $2^h\,4^m\,13^s,93$ [1]; 2. daß auf dieselbe Weise auch die wahre Berliner Zeit in wahre New Yorker Zeit und 3. daß ebenso auch die mittlere Berliner Zeit in die mittlere New Yorker Zeit verwandelt wird. Ferner kann man aussagen: 1. daß dieselbe Sternzeit, die jetzt in Berlin beobachtet wird, schon vor $18^h\,10^m\,31^s,40$ der nach Sternzeit regulierten Uhr in New York beobachtet wurde, und daß sie wieder nach $5^h\,49^m\,28^s,60$ desselben Zeitmaßes dort beobachtet werden wird; 2. daß dieselbe mittlere Zeit, die wir augenblicklich in Berlin haben, dort vor $18^h\,10^m\,31^s,40$ galt oder nach $5^h\,49^m\,28^s,60$ dort gelten wird, jedoch mit Rücksicht auf die langsamer gehende Uhr, die nach mittlerer Zeit reguliert ist; 3. daß ungefähr vor $18^h\,10^m\,31^s,40$ der nach mittlerer Zeit gehenden Uhr dieselbe wahre Zeit in New York war, die momentan in Berlin ist; ungefähr — nämlich mit Rücksicht auf den unregelmäßigen Gang der wahren Sonne. — Alle diese Wahrheiten gelten, ob man die tägliche Bewegung des Himmels für wirklich oder scheinbar hält, und ebenso, ob man dem jährlichen Sonnenlaufe Wirklichkeit zuschreibt oder ihn — wie wir später thun werden — durch eine Bewegung der Erde erklärt.

* * *

Während des größten Teiles des zur Rüste gehenden 19. Jahrhunderts war die mittlere Ortszeit in den meisten Kulturländern zugleich bürgerliche Zeit. Es bestand nur in der Stundenzählung ein geringer Unterschied. Der Astronom beginnt den Tag mit dem mittlern Mittage,

[1] Nach Subtraktion von 24^h. Man sieht hier den Vorteil, den die Zählung nach Orten bis 24^h, mit Ausschluß der westlichen Länge, gewährt: es ist für dieselben Orte immer mit demselben Vorzeichen zu rechnen.

und er hat darin recht; denn der wahre Mittag, aus dem der mittlere leicht abgeleitet werden kann, läßt sich unmittelbar beobachten, die wahre Mitternacht aber nicht. Auch ist es für den Astronomen bequemer, das Datum bei Tage zu wechseln als in der Nacht, wo er die meisten Beobachtungen anzustellen hat. Umgekehrt ist es für das bürgerliche Leben einfacher, den Tag mit der vorausgehenden Mitternacht zu beginnen, weil dann die meisten Arbeiten ruhen. Dagegen ist die andere Eigenheit der bürgerlichen Zeitrechnung höchst unzweckmäßig, nämlich die zweimalige Zählung bis 12^h. Sie bringt die Notwendigkeit beständiger Verwechslungen oder lästiger Zusätze mit sich. Es ist eine durchaus gerechtfertigte Forderung, man möge auch hier bis 24^h durchzählen, und ihre Berechtigung ist schon in mehreren Kulturländern durch entsprechende Fassung der Eisenbahnfahrpläne anerkannt worden. Daß man dann regelmäßig um 12^h den Astronomen voraus wäre, könnte kaum als Unbequemlichkeit bezeichnet werden. Der Übergang von der astronomischen zur bürgerlichen Zählung wird hauptsächlich von den Seefahrern gemacht, die sowieso vielfach umrechnen müssen und eine solche rechnerische Kleinigkeit gern mit in den Kauf nehmen werden. Unzweckmäßig war darum der vor einigen Jahren aus Canada kommende Vorschlag, auch den astronomischen Tag um Mitternacht zu beginnen; die namhaftesten deutschen Gelehrten haben sich mit Recht dagegen ausgesprochen.

Die Verschiedenheit der bürgerlichen Ortszeiten bedeutete so lange keine merkliche Störung für den Verkehr, als sich dieser nur zu Fuß, zu Schiff oder zu Roß vollziehen konnte. Die Einführung der Eisenbahnen und Telegraphen führte aber große Mißstände herbei. Nehmen wir an, daß ein Eilzug $0^h\ 15^m$ Kölner Zeit von Köln abfuhr und $9^h\ 52^m$ für den Weg nach Berlin brauchte. Er kam dort an um $10^h\ 7^m$ Kölner Zeit, was, mit Rücksicht auf den Längenunterschied von etwa $6^1/_2$ Graden, $10^h\ 33^m$ Berliner Zeit ist. Hatte ein Reisender seine Uhr in Berlin neu gestellt, so konnte er meinen, $10^h\ 18^m$ unterwegs gewesen zu sein. Bei der Fahrt in umgekehrter Richtung glaubte man nur $9^h\ 26^m$ gebraucht zu haben. Nun war die kleine Unbequemlichkeit des Uhrenstellens nach größern Reisen gewiß kein Unglück, und die Verteidiger der Einheitszeit haben in diesem Punkte stark übertrieben. Viel schlimmer war es, daß die Eisenbahnbeamten, die im innern Verkehr notwendigerweise nach einer Einheitszeit, z. B. der Berliner, rechnen mußten, um nicht alles in Verwirrung kommen zu lassen, sich im Verkehr mit dem Publikum dennoch der Ortszeiten zu bedienen hatten. Die hierdurch entstehenden Verdrießlichkeiten machten sich ganz besonders in Deutschland geltend, wo mit einer sehr bedeutenden Ausdehnung von Westen nach Osten der Übelstand zusammentraf, daß die eisenbahnreichsten Gegenden der Westgrenze nahe gerückt waren. Die große Frageluft des deutschen Reisenden, die auch sonst den Beamten zur Verzweiflung zu bringen geeignet

ist, mag verschärfend gewirkt haben. In erster Linie aber waren es militärische Erwägungen, die zur Vorlage des Reichsgesetzes über die mitteleuropäische Zeit führten; bekanntlich hat der greise Feldmarschall Graf Moltke durch eine eindringliche Rede sehr zum Zustandekommen des Gesetzes mitgewirkt.

Seit dem 1. April 1893 rechnet man im Deutschen Reiche bürgerlich nach M. E. Z., d. h. nach der mittlern Sonnenzeit des 15. Meridians östl. Länge von Greenwich. Ein sehr großer Teil vom übrigen Europa [1] rechnet gleichfalls danach. Der Verkehr ist sehr wesentlich erleichtert worden; selbst auf der Westgrenze des Gebietes ist die Schwierigkeit nur gering, da die Uhren genau um eine Stunde auf W. E. Z., d. h. westeuropäische oder Greenwicher Zeit, zurückgestellt werden. — Amerika hat das System der Zonenzeiten schon länger und braucht bei seiner großen westöstlichen Ausdehnung nicht weniger als fünf verschiedene Normalzeiten, die allemal um volle Stunden unterschieden sind; nämlich die Pacific time, Rocky mountain t., Central t., Eastern t. und Intercolonial t., entsprechend dem 240., 255., 270., 285. und 300. Grade östlicher Länge v. Gr.

Wer den Übergang von den Ortszeiten zur M. E. Z. in Deutschland aufmerksam verfolgt hat, wird bemerkt haben, daß seit dem 1. April 1893 die öffentlichen Uhren überhaupt viel genauer gehen als früher. Das kommt jedenfalls auch der Wissenschaft zu gute, die vielfach, z. B. bei Beobachtungen von Erdbeben, Blitzen, Sternschnuppen und andern nicht vorauszuberechnenden Naturerscheinungen auf die Mithilfe der Nichtfachmänner angewiesen ist. Unter diesen Umständen muß man sich fragen, warum eine Neuerung, die so viel Gutes brachte, in Deutschland gerade von den besten Kennern der Zeitfrage, nämlich den Astronomen, so scharf bekämpft worden ist. Der Grund liegt darin, daß durch die M. E. Z. eine neue und für manche Gebiete noch viel größere Abweichung von der Natur gegeben wird, als bereits die Einführung der mittlern Zeit statt der wahren verursacht hatte. So ist die mittlere Königsberger Zeit um 22^m der M. E. Z. voraus, und da z. B. am 2. November die wahre Zeit der mittlern um mehr als 16^m vorausgeht, ist an diesem Tage die neue bürgerliche Zeit in Königsberg nicht weniger als 38^m hinter der wahren Sonnenzeit zurück. Der wahre Mittag halbiert den Tagebogen der Sonne, der künstliche schneidet östlich ein viel größeres Stück ab als westlich, und das ist für die kurzen Wintertage in der geographischen Breite Ostpreußens immerhin ein sehr naturwidriges Verfahren. Im westlichen Deutschland, wo allerdings die Wintertage der geringern durchschnittlichen Polhöhe wegen etwas länger sind, gilt eine ähnliche Erwägung für den halben Februar. Es mag sein, daß diese

[1] Vgl. die 13. Karte im Handatlas von Wagner u. Debes.

Verschiebung der natürlichen Verhältnisse, die sich in Schule und Amtszimmer doch wohl stärker bethätigt hat, als die Einheitsfanatiker zugestehen mochten, mit der Zeit als etwas Notwendiges durch die Gewohnheit leichter erträglich werden wird.

Von astronomischer Seite ist wohl mit Recht hervorgehoben worden, daß das System der Zonenzeiten eine Halbheit ist, die sich um so weniger halten lassen wird, je enger die Völker des Erdballs in friedlicher Thätigkeit zusammenrücken. Der besonders von Förster verfochtene Gedanke des gleichzeitigen Gebrauches von Ortszeit und Weltzeit (Greenwicher Zeit) wird am Ende doch wohl noch durchgeführt werden, trotz der Unzuträglichkeiten, womit seine Anwendung verknüpft zu sein scheint. Der Berliner Uhrmacher Hoffmann hat vor einigen Jahren eine Uhr in den Handel gebracht, die den gleichzeitigen Gebrauch wesentlich erleichtern würde (Deutsches Reichspatent 47361). Die Uhr (Fig. 30) hat ein äußeres schwarzes Zifferblatt mit weißen und ein inneres weißes mit schwarzen Zeigern. Alle vier Zeiger drehen sich um denselben Mittelpunkt; das äußere Zifferblatt giebt Weltzeit an und zählt bis 24 Stunden; der kleine Zeiger braucht 24^h zu einem Umlaufe. Das innere, nach Ortszeit zu stellende, geht in alter Weise bis 12^h. Man kann nach Belieben entweder beide Zeigerpaare auf einmal stellen, z. B. nach einer Zeitbestimmung durch die wahre Sonne, oder auch allein das innere bei einer Ortsveränderung. Solange das System der Orts- und Weltzeiten noch keine Aussicht auf Einführung hat, kann man sich des Doppelzifferblattes in anderer Weise bedienen: Stellt man die innern Zeiger auf M. E. Z. und die äußern auf Ortszeit, so kann man sich jener im täglichen Leben und dieser für Himmelsbeobachtungen bedienen, die, vielleicht von Meteorbeobachtungen abgesehen, noch immer am besten nach mittlerer Ortszeit aufgezeichnet werden.

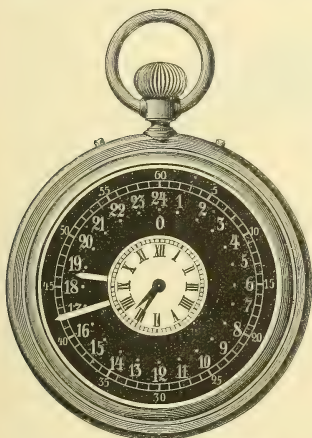


Fig. 30. Uhr mit Doppelzifferblatt
$18^h\ 42^m$ M. Z. Greenwich etwa gleich $7^h\ 35^m$ morgens nach Berliner Zeit.

Der Unterschied zwischen Ortszeit und M. E. Z. ist leicht mit Hilfe des Atlas zu ermitteln. Die Karten, auch die der Fahrpläne, geben ihn vielfach bei den einzelnen Meridianen an, auch wird er in Kalendern mitgeteilt. Der Himmelsbeobachter hat ihn stets zu beachten. Das Verfahren möge an zwei Beispielen klar gemacht werden. 1. Wieviel Uhr nach M. E. Z. ist es im wahren Straßburger Mittage des 22. Dezember? Da Straßburg

$28^m\ 59^s$ westlich vom Meridian der M. E. Z. (dem sogen. Stargarder Meridian) liegt, so zeigt im mittlern Straßburger Mittage die Uhr bereits $0^h\ 28^m\ 59^s$. Der wahre Mittag tritt bereits $1^m\ 7^s$ früher ein, also um $0^h\ 27^m\ 52^s$ M. E. Z.[1] Hat man also ein Instrument zum Beobachten des Meridiandurchganges der Sonne, so kann man damit auch die nach M. E. Z. gehenden Uhren regulieren. — 2. Es ist 8^h abends nach M. E. Z. am 10. Februar; man will in Breslau die Sternzeit wissen, um den Himmelsglobus stellen zu können. Im mittlern Breslauer Mittage haben wir $21^h\ 22^m$ Sternzeit; um 8^h also $5^h\ 23^m\ 19^s$, da man für einen Dritteltag ein Voreilen der Sternzeit um $^1/_3\,(3^m + 56^s)$ zu berechnen hat. Nach M. E. Z. hört man erst $8^m\ 9^s$ später als nach der Breslauer Ortsuhr die achte Stunde schlagen, also um $5^h\ 31^m\ 29^s$ Sternzeit, mit Addition einer Sekunde für das Voreilen der Sternzeit[2].



Fig. 31. Alte und neue Datumsgrenze.

* * *

Wenn man in östlicher Richtung um die Erde reist und überall nach Ortszeit leben will, so muß man die Uhr beständig vorstellen, und es ist

[1] Die Zeitgleichung müßte hier eigentlich noch verbessert werden, da sie für den wahren Berliner Mittag gilt. Wir haben absichtlich die Jahreszeit der stärksten Änderung genommen, um zu zeigen, daß sie für diese Aufgabe doch kaum in Betracht kommt. Die Zeitgleichung ändert sich für den Tag um 30^s, für die 22^m also (Berlin—Straßburg) noch nicht um eine halbe Sekunde.

[2] Vgl. jedoch Note 2 auf S. 74.

klar, daß nach dem Durchgang durch sämtliche Meridiane ein ganzer Tag gewonnen sein wird. Reist man in umgekehrter Richtung um die Welt, so verliert man einen vollen Tag. Die Seefahrer pflegen darum beim Durchgang durch eine bestimmte Linie das Datum zu ändern; wird diese Linie, die Datumsgrenze, von Osten her gekreuzt, so überschlägt man einen Tag; kreuzt man sie von Westen her, so wird um einen Tag zurückgegangen. Die Datumsgrenze hatte früher einen ziemlich unregelmäßigen Verlauf, der sich dadurch erklärt, daß die Inseln des Großen Oceans zum Teil von Osten, zum Teil von Westen her entdeckt worden sind. Gegenwärtig ändert man das Datum gewöhnlich beim Überschreiten des 180. Meridians östlich v. Gr. Unsere Fig. 31 zeigt diese neue Datumsgrenze nebst der alten.

Neuntes Kapitel.

Verwandlung der Ekliptikal-Koordinaten in Äquatorial-Koordinaten und umgekehrt. — Bedeutung des jährlichen Sonnenlaufes für die Erde.

Im vorigen Kapitel haben wir erfahren, daß die Ebene der Ekliptik in ähnlicher Weise dem Koordinatensystem der Längen und Breiten zu Grunde gelegt wird, wie der Äquator dem System der Rektascensionen und Deklinationen. Kennt man die Schiefe der Ekliptik, d. h. den Winkel, den die Ebene der Ekliptik mit der des Äquators macht, so kann man Rektascensionen und Deklinationen in Längen und Breiten verwandeln, und umgekehrt. Bezeichnet man die Ekliptikal-Koordinaten, entsprechend den Anfangsbuchstaben, mit λ und β, die Äquatorial-Koordinaten, wie früher, mit α und δ, die Schiefe mit ε, so hat das sphärische Dreieck zwischen dem Stern und den Polen des Äquators und der Ekliptik die Seiten $90^\circ - \delta$, $90^\circ - \beta$ und ε, denen der Reihe nach die Winkel $90^\circ - \lambda$, $90^\circ + \alpha$ und ν gegenüberliegen. Hier ist ν der Winkel am Stern, den der Breitenkreis mit dem Stundenkreise macht. Die Grundformeln der sphärischen Trigonometrie [siehe (1) bis (3) S. 41] ergeben dann:

$$\sin\beta = \sin\delta\cos\varepsilon - \cos\delta\sin\varepsilon\sin\alpha, \quad \ldots \quad (1)$$

$$\cos\beta\cos\lambda = \cos\delta\cos\alpha, \quad \ldots \quad (2)$$

$$\cos\beta\sin\lambda = \sin\delta\sin\varepsilon + \cos\delta\cos\varepsilon\sin\alpha. \quad \ldots \quad (3)$$

Führt man nun[1] die Hilfsgrößen M und N ein mit Hilfe der Gleichungen

$$\left.\begin{array}{l} M\sin N = \sin\delta, \\ M\cos N = \cos\delta\sin\alpha \end{array}\right\} \quad \ldots \quad (4)$$

so erhält man durch Division dieser Gleichungen

$$\tan N = \frac{\tan\delta}{\sin\alpha}; \quad \ldots \quad (5)$$

man findet also N möglichst genau und berechnet dann M aus der zweiten Gleichung (4), da sich

$$M = \frac{\cos\delta\sin\alpha}{\cos N}$$

[1] Nach Brünnows Sphärischer Astronomie. – M (später P) ist eine unbenannte Zahl, N (später Q) ein Winkel.

ergiebt. Den Quadranten, worin N zu suchen ist, geben die Gleichungen (4) an, da die Zeichen von sin und cos eines Winkels zusammen den Quadranten unzweideutig bestimmen. Dividiert man nun (3) durch (2) und ersetzt den Nenner und die Glieder des Zählers durch ihre aus (4) folgenden Werte, so erhält man leicht

$$\tan \lambda = \frac{\cos (N - \varepsilon) \tan \alpha}{\cos N}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

wobei die Gleichung (2) über den Quadranten von λ mitentscheidet, da dieser durch die Zeichen von $\tan \lambda$ und $\cos \lambda$ eindeutig bestimmt wird. Man beachte nämlich, daß $\cos \delta$ und $\cos \beta$, da die Winkel zwischen -90^0 und $+90^0$ liegen, stets positiv sind; $\cos \lambda$ hat also das Zeichen von $\cos \alpha$. Hat man λ, so findet man weiter

$$\tan \beta = \tan (N - \varepsilon) \sin \lambda. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Dividiert man nämlich (1) durch (3), bringt $\sin \lambda$ nach rechts und wendet die Formeln (4) im Zähler und Nenner an, so ergiebt sich (7) in ganz ähnlicher Weise wie (6). Da der Winkel β nur im 1. oder 4. Quadranten liegen kann (zwischen -90^0 und $+90^0$), so wird er durch die tan unzweideutig bestimmt.

Aus den vorstehenden Formeln, die logarithmisch sehr bequem sind und außerdem alle Winkel durch ihre Tangenten bestimmen, werden also λ und β gefunden, wenn α, δ und ε gegeben sind. Sind umgekehrt λ, β und ε gegeben, so erhält man für α und δ ganz ähnliche Formeln; zunächst, nach S. 41, (1) bis (3):

$$\sin \delta = \sin \beta \cos \varepsilon + \cos \beta \sin \varepsilon \sin \lambda, \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

$$\cos \delta \cos \alpha = \cos \beta \cos \lambda, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

$$\cos \delta \sin \alpha = - \sin \beta \sin \varepsilon + \cos \beta \cos \varepsilon \sin \lambda. \quad \ldots \quad (10)$$

Setzt man nun

$$\left.\begin{aligned} P \sin Q &= \sin \beta, \\ P \cos Q &= \cos \beta \sin \lambda \end{aligned}\right\}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

so hat man

$$\tan Q = \frac{\tan \beta}{\sin \lambda}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

worauf dann P mit Hilfe von (11) gefunden wird. Dann aus (10) und (9) mit Rücksicht auf die obige Entwicklung:

$$\tan \alpha = \frac{\cos (Q + \varepsilon) \tan \lambda}{\cos Q}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

$$\tan \delta = \tan (Q + \varepsilon) \sin \alpha. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

Durch (11) ergiebt sich der Quadrant von Q, durch (9) und (13) der von α; δ liegt, wie β, im 1. oder 4. Quadranten, ist also gleichfalls unzweideutig bestimmt.

Für die Sonne, die sich stets in der Ekliptik bewegt, ist $\beta = 0$, also auch $\tan \beta = 0$, $\cos \beta = 1$, $Q = 0$; für die Formeln (13) und (14) erhält man also bei der Sonne die einfachern:

$$\tan \alpha = \tan \lambda \cos \varepsilon, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13^*)$$

$$\tan \delta = \sin \alpha \tan \varepsilon, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14^*)$$

dann noch für (8) und (9):

$$\sin \delta = \sin \lambda \sin \varepsilon, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8^*)$$

$$\cos \alpha \cos \delta = \cos \lambda. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9^*)$$

Von der Sonnendeklination hängt der Tagesbogen der Sonne ab, dessen Wert, im Zeitmaße gemessen, die Tageslänge im üblichen Sinne ist, nämlich die Zeit vom Aufgange bis zum Niedergange des Tagesgestirns. Wird Gleichung (8) des 6. mit (14*) des vorliegenden Kapitels verbunden, so hat man

$$\cos t_0 = - \tan \varphi \tan \varepsilon \cdot \sin \alpha. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Der Faktor $-\tan\varphi \tan\varepsilon$ ist für denselben Beobachter konstant. Das Zeichen von $\cos t_0$ wird durch das Zeichen von $\sin\alpha$ mitbestimmt. Leicht ergiebt sich hieraus folgendes:

1. Auf der nördlichen Erdhalbkugel ist, wenn α durch die beiden ersten Quadranten geht, also vom 20. März bis zum 23. September, $\cos t_0$ negativ; t_0 ist also im 2. oder 3. Quadranten, der Halbtagsbogen ist $> 90^0$, der volle Tag länger als 12^h; ebenso auf der südlichen Halbkugel vom 23. September bis zum 20. März, wenn α durch die beiden letzten Quadranten geht.

2. Auf der nördlichen Halbkugel ist, wenn α durch die beiden letzten Quadranten geht, also vom 23. September bis zum 20. März, $\cos t_0$ positiv, also der volle Tag kürzer als 12^h; ebenso vom 20. März bis zum 23. September auf der Südhalbkugel.

3. Die Maxima und Minima treffen auf $\alpha = 90^0$ und $\alpha = 270^0$, wo $\sin\alpha = \pm 1$ ist, dazwischen ändert sich die Tageslänge ganz allmählich.

4. **Für Orte auf dem Äquator der Erde, wo $\varphi = 0$ ist, ergiebt (15) für $\cos t_0$** den konstanten Wert 0 im ganzen Jahre; gleich allen andern Sternen hat hier die Sonne stets denselben Halbtagsbogen von 90^0, der Tag ist also immer 12^h lang. Das gilt angenähert auch noch für kleine positive oder negative Werte von φ. Daher wird der Äquator mit Recht die Nachtgleichenlinie (linea aequinoctialis) genannt, und auch sein Name **„Gleicher“ erklärt sich hieraus. (Vgl. S. 44, Note 3)**

* * *

Wenn wir die Formel (8*) differentiieren, d. h. auf sie dasselbe Verfahren anwenden, wie früher (S. 47) auf die Formel (7) des Kap. 6, so erhalten wir leicht

$$\frac{\triangle\delta}{\triangle\lambda} = \frac{\cos\lambda \sin\varepsilon}{\cos\delta} = \cos\alpha \sin\varepsilon, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

wo sich die Vereinfachung am Schlusse aus (9*) ergiebt[1]. Die Änderung der Sonnendeklination in kleinen Zeitteilen ist also dem cos der RA proportional; am größten ist sie, wenn die RA (oder die Länge) $= 0^0$ oder 180^0 ist, d. h. in den Äquinoktien, am kleinsten, nämlich null, wenn die RA (oder die Länge) gleich 90^0 oder 270^0 ist. Mit Recht nennt man darum diese Punkte, den nördlichsten und den südlichsten Ekliptikalpunkt, die Solstitien oder Sonnenwenden, nicht als ob die Sonne hier stillstände oder sich wendete, sondern weil die Verhältnisse eine geraume Zeit hindurch wegen der geringen Änderung von δ beständig zu sein scheinen, um sich dann mit dem Vorzeichen von $\cos\alpha$ allmählich zu wenden. — Ein Blick auf den Himmelsglobus oder die Sternkarte läßt die Größe der Deklinationsänderung in den einzelnen Gegenden bei dem (ungefähr) gleichmäßigen Fortschreiten der Sonne in der Ekliptik leicht übersehen.

Von der Sonnendeklination hängt die Tageslänge in der früher (Kap. 6) bezüglich der Sterne erörterten Weise ab. Auch sie ändert sich, in mittlern Breiten wenigstens, am langsamsten in den Solstitien, am schnellsten in den Äquinoktien.

Wenn im Januar die Tageslänge im mittlern Europa morgens langsamer als abends zu wachsen scheint, so beruht das auf der Zeitgleichung. Wir überlassen dem Leser den rechnerischen Nachweis dafür; er ist am einfachsten in folgender Weise zu führen: 1. Entnimm für die Zeit von Neujahr bis zum 31. Januar, etwa von fünf zu fünf Tagen, die Sonnendeklinationen der Tabelle[2]. — 2. Aus den Deklinationen

---

[1] Man hat $\sin\varepsilon$ als konstant zu betrachten.

[2] Man kann sie auch aus den Längen berechnen, siehe Formel (8*).

berechne mit Rücksicht auf die geographische Breite des Wohnortes die Halbtagsbogen der Sonne nach der Formel (8) des Kap. 6 (S. 43). — 3. Entnimm den Zeitpunkt des wahren Mittags nach mittlerer Zeit für jeden Tag aus der Zeitgleichungstafel S. 71; durch Addition und Subtraktion der Halbtagsbogen werden nun die Auf- und Untergangszeiten der Sonne erhalten, deren Änderungen dann rasch zu übersehen sind. Man kann diese Zeiten auch noch auf M. E. Z. umrechnen mit Hilfe des Längenunterschiedes mit dem 15. Meridian.

Wir werden später sehen, daß die Halbtagsbogen der Himmelskörper durch die atmosphärische Strahlenbrechung regelmäßig um einige Minuten verlängert werden. Rechnet man in der oben angegebenen Weise die Auf- und Untergänge für Berlin ($\varphi = +52^\circ\,30'$) aus, so wird man näherungsweise die Richtigkeit der nachstehenden Tafel, mit Rücksicht auf jene Verlängerung, bestätigen können.

Tag.	A.*	U.	Tag.	A.*	U.
Jan. 1.	$20^h\,14^m$	$3^h\,54^m$	Jan. 21.	$20^h\;0^m$	$4^h\,24^m$
„ 6.	12	4 1	„ 26.	19 53	33
„ 11.	9	8	„ 31.	46	42
„ 16.	5	15			

Das * neben A. bedeutet, daß sich der Aufgang astronomisch auf den vorigen Tag bezieht, da der Tag mit dem Mittage begonnen wird. — Eigentlich ist unsere Rechnung noch etwas ungenau gewesen. Wir haben nämlich die t_0 mit Hilfe der mittägigen Deklination gefunden, während sie offenbar aus den beim Aufgange und Untergange selbst gültigen Werten gefunden werden mußten. Will man streng verfahren, so hat man aus den genäherten Auf- und Untergangszeiten, wie sie das einfachere Verfahren ergab, die Deklinationen zu diesen Zeiten zu berechnen, die sich von den zu den wirklichen A. und U.-Zeiten stattfindenden nicht merklich unterscheiden werden; aus diesen δ findet man dann die verbesserten t_0.

Die Morgen- oder Abendweite der Sonne wird nach S. 46, Formel (10) und den folgenden Ausführungen aus der Deklination und der Polhöhe gefunden. Für $\delta = \pm\varepsilon$ erreicht sie ihre Maxima nach Norden und Süden.

* * *

Die durch die beiden Solstitien gelegten Parallelkreise des Himmels heißen die Wendekreise, und zwar der nördliche der Wendekreis des Krebses, der südliche der Wendekreis des Steinbocks, obschon sie heutzutage nicht mehr durch die Sternbilder gehen, denen sie ihre Namen verdanken[1]. Jedem himmlischen Parallelkreise entspricht, wie wir aus dem 7. Kapitel (S. 60) wissen, ein irdischer Parallelkreis, für dessen Anwohner er durch das Zenith geht[2]; eine und dieselbe Kegelfläche mit der Spitze im Centrum der Erde schneidet aus der Erdkugel[3] den irdischen, aus der Himmelskugel den himmlischen Parallelkreis aus. So entsprechen den Wendekreisen des Himmels die beiden Wendekreise der Erde, die nach dieser Erklärung in den Polhöhen oder geographischen Breiten von $+23\frac{1}{2}^\circ$ und $-23\frac{1}{2}^\circ$ verlaufen. Weiterhin werden die himmlischen Parallelkreise in den Deklinationen $+66\frac{1}{2}^\circ$ und $-66\frac{1}{2}^\circ$, die nach früherem durch die Ekliptikalpole gehen, als nördlicher und südlicher Polarkreis bezeichnet, und ebenso die irdischen Parallelkreise in den geographischen

[1] Tropicus cancri, tr. capricorni, von τρέπω, wende. — Vgl. Kap. 19.

[2] Daher der Ausdruck: unter einem milden, einem glühenden Himmelsstriche leben.

[3] Von der Abplattung der Erdkugel abgesehen

Breiten $+ 66^1/_2{}^0$ und $- 66^1/_2{}^0$. Die Kugelkappen, welche von den Polarkreisen der Erde eingeschlossen werden, heißen die kalten Zonen; zwischen einem Polarkreise und dem benachbarten Wendekreise liegt eine jede von den beiden gemäßigten Zonen, während die heiße Zone von den Wendekreisen eingeschlossen wird und darum auch den Namen der Tropen oder der tropischen Zone führt. Die Bezeichnungen arktisch und antarktisch für die nördlichen und südlichen Polargebiete sind auf den Bären (ἄρκτος) als das Gestirn des Nordpoles zurückzuführen.

Die genaue Untersuchung der Beleuchtungsverhältnisse in den einzelnen Zonen gehört der Geographie und nicht der Himmelskunde an. Die Hauptsätze sind im folgenden kurz zusammengestellt.

1. Die Bewohner der heißen Zone sind zweischattig (δίσκιοι), denn da für diese Zone die Polhöhe dieselben Grenzwerte $+ \varepsilon$ und $- \varepsilon$ hat wie die Sonnendeklination, so kulminiert für jeden Parallelkreis der heißen Zone in einem Teile des Jahres die Sonne im Süden, in dem andern Teil des Jahres im Norden. Der Mittagsschatten fällt also in der einen Jahreszeit nach Norden, in der andern nach Süden; diese Teile des Jahres sind jedoch nur am Äquator selbst einander gleich; nördlich davon hat man den Mittagsschatten längere Zeit im Norden, südlich längere Zeit im Süden. Die beiden Jahreszeiten werden getrennt durch die beiden Tage, wo die Sonne im Zenith kulminiert. Die beiden Tage sind für den Äquator der 20. März und der 23. September; für die übrigen Gebiete der heißen Zone rücken sie desto näher zusammen, je näher man den Wendekreisen kommt.

2. Mit der Annäherung an die Wendekreise rücken jene Grenztage zugleich den Solstitialtagen immer näher, bis sie am Wendekreise des Krebses beide auf den 21. Juni, am Wendekreise des Steinbocks beide auf den 21. Dezember fallen. Wegen der geringen Änderung der Sonnendeklination gerade in diesen Gebieten findet die Kulmination eine lange Reihe von Tagen nahezu im Zenith statt; daher werden die Anwohner der Wendekreisgegenden vorzugsweise unschattig (ἄσκιοι) genannt.

3. Die Bewohner der nördlichen gemäßigten Zone sehen die Sonne das ganze Jahr hindurch im Süden kulminieren; der Mittagsschatten fällt also hier immer nach Norden, in der südlichen gemäßigten Zone immer nach Süden. Die Bewohner dieser Erdgürtel sind einschattig (μονόσκιοι).

4. Da für den nördlichen Polarkreis $\varphi = 90^0 - \varepsilon$ ist und die Sonne am 21. Juni die Deklination $+ \varepsilon$ hat, so findet deren untere Kulmination an diesem Tage in der Höhe 0^0 statt. Die Mitternachtssonne bleibt also an diesem Tage dort sichtbar, da sie nur den Horizont streift. In noch höhern Breiten liegt der Äquator im Norden dem Horizonte noch näher, die Mitternachtssonne bleibt dort Wochen und Monate lang sichtbar; am Nordpol selbst, wo der Himmelsäquator mit dem Horizonte zusammenfällt, sieht man die Sonne ein halbes Jahr hindurch, vom 20. März bis zum 23. September. Strahlenbrechung und Dämmerung verlängern in diesen Gegenden noch die Länge der einzelnen Tage und der hellen Jahreszeit. Es ist leicht, dieselbe Erwägung für die südliche kalte Zone anzustellen. Die Bewohner der kalten Zonen sind umschattig, da für sie in der hellen Jahreszeit die Sonne circumpolar ist und der Schatten beständig durch alle Azimute läuft. Im Winter haben sie (von der Refraktion und Dämmerung abgesehen) ebenso lange Nächte oder Nachtperioden.

Auf jeder Erdhalbkugel nennt man Frühling die Zeit von dem Äquinoktium, durch welches die Sonne auf die entsprechende Himmelshalbkugel übergeht, bis zum nächsten Solstitium, Sommer die Zeit von hier an bis zum folgenden Äquinoktium, Herbst von da bis zum folgenden Solstitium, Winter von da bis zum ersten

Äquinoktium. In den Tropen hat übrigens der Sprachgebrauch die Begriffe etwas verschoben, wie denn hier auch die Erscheinungen selbst die bei uns übliche Einteilung nicht zulassen.

Alle diese Verhältnisse lassen sich am Himmelsglobus in einfachster Weise übersehen. Man hat ihn nur auf die Polhöhe des Ortes einzustellen, den Sonnenort auf der Ekliptik zu bezeichnen und die Achsendrehung zu bewerkstelligen. Auch hier zeigt sich wieder, daß es unsinnig ist, die Ekliptik auf dem Erdglobus darzustellen. Das wird noch besser hervortreten, wenn wir erst den jährlichen Sonnenlauf durch eine Bewegung der Erde um die Sonne erklären.

Zehntes Kapitel.

Das Licht. — Refraktion, Absorption und Dämmerung. — Das Funkeln und die Sternfigur.

Bei dem Durchgange durch die Atmosphäre erfahren die Licht- und Wärmestrahlen, die uns von der Sonne, dem Monde und den Sternen zugesendet werden, einige Änderungen. Diese sind für die Erkenntnis der Natur des Sternenlichtes und der Richtung, worin es sich durch den Weltraum bewegt hat, von großer Bedeutung; wir wollen sie schon an dieser Stelle kurz im Zusammenhange besprechen, besonders um zu zeigen, wie die einfachen Beleuchtungsverhältnisse dadurch geändert werden, die sich aus dem täglichen und jährlichen Sonnenlaufe ergeben.

Eingehendere Angaben über die Natur des Lichtes können wir hier nicht machen; unter Hinweis auf mehrere gute Lehrbücher der Physik[1] müssen wir uns auf die Mitteilung der allerwichtigsten Erfahrungssätze beschränken.

1. Das Licht ist eine Wellenbewegung, die sich mit großer Geschwindigkeit fortpflanzt. Als das Mittel, worin sich diese Bewegung vollzieht, ist ein äußerst feiner, durch den ganzen Weltraum verbreiteter und auch in das Innere der Körper dringender Stoff, der Lichtäther[2], anzusehen. Erregt

---

[1] Koppe, Lehrbuch der Physik. Essen, Bädeker. (Elementar.) Püning, Grundzüge der Physik. Münster, Aschendorff. (Elementar.) Derselbe, Lehrbuch der Physik. Ebendort. (Standpunkt der obern Gymnasialklassen.) Münch, Lehrbuch der Physik. Freiburg, Herder. (Standpunkt der Oberklassen realistischer Lehranstalten.) Dressel, Elementares Lehrbuch der Physik. Ebendort. (Gründliche Einführung in alle Lehren mit ausgiebiger Benutzung der niedern Mathematik.) Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. Leipzig, Teubner. 4 Bde.; auch eine kürzere Ausgabe ist erschienen. (Berücksichtigt hauptsächlich den experimentalen Teil.) Winkelmann, Handbuch der Physik. Breslau, Trewendt. (Weit angelegtes, von mehreren Verfassern bearbeitetes Werk; verlangt Kenntnis der höhern Mathematik. Unsere Angaben über die Geschwindigkeitsbestimmungen [S. 87] entnehmen wir diesem Werke.)

[2] Ob sich die atmosphärische Luft in hoher Verdünnung durch weite, interplanetare Räume erstreckt, ist noch eine offene Frage; diese „Himmelsluft“ darf nicht mit dem Lichtäther verwechselt werden, dessen Eigenschaften von denen der bekannten Stoffe durchaus verschieden sein müssen. — Eine Verwechslung mit den chemischen Verbindungen, die man Äther nennt, ist wohl nicht zu befürchten.

wird das Licht durch zitternde Bewegung der kleinsten Teile (Molekeln[1]) von Gegenständen; man sagt, daß diese Gegenstände glühen und dabei das Licht aussenden.

2. In einem und demselben Mittel breitet sich das Licht so lange mit gleicher Schnelligkeit nach allen Seiten aus, als nicht besondere Verhältnisse, wie eine Änderung der Dichtigkeit oder Elasticität dieses Mittels, die Schnelligkeit und Richtung ändern. In seltenen Fällen, z. B. beim Kalkspat und andern Krystallen des hexagonalen, auch des tetragonalen Systems, bewirkt ein besonderes Gefüge, daß sich der Lichtstrahl in der einen Richtung schneller als in der andern bewegt.

3. Die Geschwindigkeit des Lichtes in dem leeren (nur vom Äther erfüllten) Raume ist auf verschiedene Art bestimmt worden. Obwohl die ersten Bestimmungen (im 17. Jahrhundert[2]) auf astronomischem Wege ausgeführt worden sind, wollen wir doch hier auf die physikalischen Methoden das Hauptgewicht legen. Es sind Fizeaus Methode des rotierenden Zahnrades und Foucaults Methode des rotierenden Spiegels. Die Ergebnisse dieser Bestimmungen sind mit kleinen Unsicherheiten behaftet wie alle von der messenden Physik gewonnenen Zahlen. Dennoch stimmen sie vorzüglich überein, wie nachstehende Zahlen zeigen. Nachdem Fizeau selbst im Jahre 1849 für den Lichtweg in einer Sekunde 31 330 myriom[3] erhalten hatte, verbesserte Cornu Fizeaus Methode sehr wesentlich und erhielt im Jahre 1873 für die Lichtgeschwindigkeit $29\,850 \pm 50 \frac{\text{myriom}}{\text{sec}}$, wo die angehängte Zahl die Unsicherheit bedeutet. Das folgende Jahr ergab $30\,040 \pm 30$, so daß das Mittel $29\,995 \pm 40$ schon als recht genau gelten kann. — Im Jahre 1862 erhielt Foucault durch den rotierenden Spiegel 29 800; Michelson verbesserte die Methode erheblich und erhielt in drei Versuchsjahren folgende Mittelwerte:

Jahr.	Geschwindigkeit d. L.
1878	$30\,014 \pm 50$
1880	$29\,994 \pm 5$
1885	$29\,985 \pm 6$.

Newcomb erhielt nach einer Abänderung des Foucaultschen Verfahrens die Zahl $29\,986 \pm 5$. Als Gesamtmittel aus den vorzüglichen Bestimmungen von Cornu, Michelson und Newcomb darf $29\,989 \pm 3$ gelten. So viel myriom legt also in einer mittlern Zeitsekunde das Licht im leeren Raume zurück.

Es wird sich später zeigen, daß eine ganze Menge von astronomischen Erscheinungen, die unter dem gemeinsamen Namen der Aberration zusammengefaßt

[1] Molecula von moles abgeleitet, französisch la molécule; „das Molekül" ist also zu verwerfen.

[2] Siehe Kap. 16. [3] Ein Myriometer (myriom) ist gleich 10 000 m = 10 km.

werden dürfen, durch die Meßbarkeit der Lichtgeschwindigkeit auf das einfachste erklärt werden kann, wenn man die coppernikanische Lehre vom jährlichen Erdenlaufe annimmt; diese Erscheinungen erlauben uns dann sogar, die Lichtgeschwindigkeit unabhängig von den Versuchen der Physiker zu bestimmen und die oben angegebenen Zahlen innerhalb einer gewissen Genauigkeitsgrenze zu bestätigen. Lehnt man aber das coppernikanische System ab, so muß man fast alle jene aberrativen Vorgänge unerklärt lassen.

4. Hat das Licht bisher ein bestimmtes Medium durchsetzt und trifft nun auf ein anderes, so zerlegt sich der Strahl in zwei Strahlen, den zurückgeworfenen und den gebrochenen, deren Richtungen aus der des ursprünglichen Strahles und aus dem Einfallslote bestimmt werden können. Das Einfallslot ist die an der Eintrittsstelle auf der Grenzfläche der beiden Mittel errichtete Senkrechte. Ist die Grenzfläche eben, so ist der Begriff der Senkrechten oder Normalen aus der elementaren Stereometrie bekannt; bei einer krummen Fläche ist es die Senkrechte zur berührenden Ebene. Folgende Sätze gelten über Zurückwerfung und Brechung: 1. Durch das Einfallslot, den einfallenden, den zurückgeworfenen und den gebrochenen Strahl läßt sich eine Ebene legen; 2. der reflektierte (zurückgeworfene) Strahl macht mit dem Einfallslote denselben Winkel wie der einfallende Strahl; 3. nennt man Einfallswinkel den Winkel des einfallenden, Brechungswinkel den des gebrochenen Strahles mit dem Einfallslote, so ist auszusprechen, daß die Sinus dieser beiden Winkel in einem konstanten Verhältnisse stehen, welches gleich ist dem Verhältnisse der Lichtgeschwindigkeiten in den beiden Mitteln. Dieses Verhältnis heißt der Brechungskoefficient[1] der beiden Medien; er hängt nur von deren Natur und der Beschaffenheit des Lichtstrahles ab, nicht aber vom Einfallswinkel. Tritt der Strahl in ein optisch dichteres Mittel über, d. h. in ein Mittel mit geringerer Lichtgeschwindigkeit, so wird er dem Lote genähert; tritt er in ein optisch dünneres Mittel, so wird er vom Lote entfernt. In diesem zweiten Falle kann der Einfallswinkel so groß werden, daß das Brechungsgesetz für den Brechungswinkel einen größern Sinuswert als 1 ergiebt. Hierzu kann kein Winkel angegeben werden; in der That findet in diesem Falle keine Brechung, sondern vollständige Zurückwerfung oder totale Reflexion statt.

5. Es giebt eine große Menge verschiedener Lichtarten. Sie unterscheiden sich durch die Wellenlängen und Schwingungszahlen. Die langwelligsten Lichtarten mit den kleinsten Schwingungszahlen machen auf unser Auge den Eindruck des Roten; doch giebt es auch dunkle

[1] Früher Brechungsexponent. Hier wie in der Mathematik (bei Reihen und Verhältnissen) hat man mit Recht den Ausdruck Exponent abgeschafft, wo es sich um einen Faktor oder Quotienten handelt.

Wärmestrahlen mit noch längern Wellen. Mit zunehmender Schwingungszahl und abnehmender Wellenlänge der Lichtstrahlen gehen wir von Rot durch Orange, Gelb, Grün und Blau zum Violett. Es giebt chemisch wirksame Strahlen mit noch geringerer Wellenlänge als die violetten; aber sie erregen, gleich den dunkeln Wärmestrahlen, nicht mehr unsern Sehnerv. Diese „infraroten" und „ultravioletten" Strahlen sind gleichwohl für die Himmelskunde von hoher Wichtigkeit. — Die meisten Lichtquellen senden Strahlen von allerlei Wellenlängen aus.

6. Es scheint, daß sich die Strahlen aller Wellenlängen durch den leeren Raum mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen; die Erscheinungen, welche man unter dem Namen der Finsternisse oder Occultationen zusammenfaßt, könnten sonst nicht wohl so verlaufen, wie man thatsächlich beobachtet. Dagegen sind die Geschwindigkeiten der einzelnen Strahlen auch in einem und demselben Mittel verschieden, und so auch die Brechungen, die ja von den Geschwindigkeiten nach dem Sinusgesetze abhangen. Mit jeder Lichtbrechung ist darum eine Farbenzerstreuung verbunden. Je kurzwelliger die Strahlen, desto stärker werden sie durch die Brechung abgelenkt.

7. Innerhalb der einzelnen Mittel werden die Strahlen dadurch zum Teil verschluckt oder ausgelöscht (absorbiert oder extinguiert), daß sie die Molekeln des Mittels selbst in Schwingungen versetzen. Hierbei werden manchmal die Strahlen bestimmter Wellenlängen von der Absorption besonders betroffen, während andere nur wenig geschwächt werden. So läßt rotes Glas hauptsächlich langwellige, violettes hauptsächlich kurzwellige Strahlen durch. Der Photograph kann sich beim Entwickeln seiner Platten eines roten Fensters bedienen, da dieses die stark brechbaren, chemisch wirksamen Strahlen fast vollständig auslöscht. Wenn eine Schicht von 1 mm Dicke das Licht einer bestimmten Art so schwächt, daß dessen Stärke mit dem echten Bruche $\frac{a}{b}$ multipliziert wird, so wird diese durch eine Schicht von n mm im Verhältnisse $\left(\frac{a}{b}\right)^n$ geschwächt.

8. Emission, Absorption, Brechung, gewöhnliche und totale Reflexion erklären uns die natürlichen Farben der Gegenstände, z. B. auch der Himmelskörper. Die Optik lehrt eigenes Licht von zurückgeworfenem unterscheiden, die später zu besprechende Spektralanalyse lehrt die Ursachen der Emission verschiedener Lichtarten kennen.

* * *

Für die Kenntnis der Beleuchtung der Erde ist das Einstrahlungsgesetz wichtig. Die Stärke der Beleuchtung eines Gegenstandes ist proportional dem cos des Winkels, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslote macht, d. h. dem cos der Zenithdistanz, wenn eben die Be=

leuchtung und Erwärmung der Erde durch die Sonne in Betracht kommt. Dieser cos nimmt von 0^0 bis zu ziemlich großen spitzen Winkeln (25^0) nur wenig ab, so daß das Gebiet der größten Hitze ziemlich weit ausgedehnt ist, indem z. B. am 20. März zwar nur die Anwohner des Äquators die Mittagssonne ins Zenith bekommen, aber auch alle andern Bewohner der heißen Zone geringere mittägige Zenithdistanzen als 25^0, also größere cos als 0,9 zu verzeichnen haben. Später nimmt der cos viel rascher ab; es tritt aber noch ein weiterer Umstand hinzu, um die Erwärmungskraft bei großen Zenithdistanzen zu schwächen. Fig. 32 stellt einen Durchschnitt durch den Erdkörper und die Lufthülle vor. Die Atmosphäre legt sich um die Erdkugel in concentrischen Schichten, die nach unten zu immer dichter werden; denn die Dichte eines Gases ist dem darauf lastenden Drucke proportional,

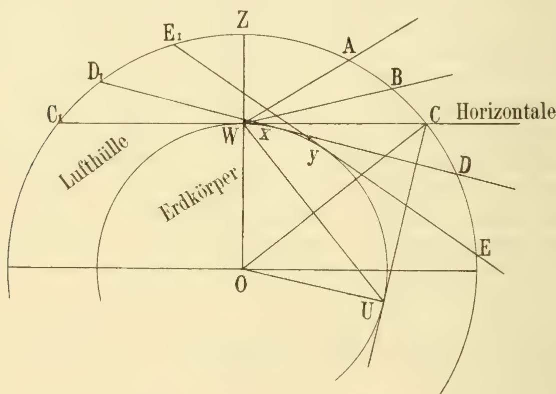


Fig. 32. Entstehung des Dämmerlichtes.

und auf jede tiefere Schicht drücken alle höhern. Ein Strahl, der bei Z eingetreten ist, erreicht den Beobachtungsort W, nachdem er die Atmosphäre auf dem kürzesten Wege durchsetzt hat. Der bei A eingetretene Strahl[1] muß schon einen weitern Weg machen, noch weitere die bei B und C eingetretenen Strahlen. C geht von der im Horizonte stehenden Sonne aus. Die Beleuchtung durch die tiefer stehende Sonne ist also nicht nur zufolge des Einstrahlungsgesetzes schwächer; die aus diesem Gesetze für größere Zenithdistanzen erschlossene rasche Abnahme wird durch die Absorption vorzüglich in den schweren und unreinen untern Schichten noch bedeutend vergrößert. Dabei bedenke man, daß in Gebieten, wo die Sonne überhaupt nur geringe

[1] Wir sehen hier von der gleich zu besprechenden Refraktion ab.

Höhen erreicht, also in den kalten Zonen, die untere Luft besonders reich an Eisnadeln ist.

Durch die Absorption erklärt es sich, daß die tief stehende Sonne mit unbeschütztem Auge betrachtet werden darf[1]. Hieraus mag man die große Schwächung ermessen, die das Sternenlicht in den tiefern Schichten erfährt. Bei Lichtvergleichungen, z. B. beim Beobachten veränderlicher Sterne, ist wohl darauf zu achten. Es möge noch beachtet werden, daß die kurzwelligen, brechbareren Strahlen am stärksten absorbiert werden; das bedeutet (vgl. 7 auf S. 89) für uns eine leichte Rotfärbung tiefer stehender Gestirne.

Der Sonnenstrahl C W streift die Erdkugel und erreicht die Atmosphäre wieder bei C_1. Wir können noch andere Strahlen ziehen, die, wie $D D_1$ und $E E_1$, die Erdkugel streifen und ungefähr dieselbe Lichtschwächung erfahren wie $C C_1$. Weil nun die Atmosphäre nach oben zu ihre physikalische und damit auch ihre optische Dichte ändert, außerdem zahlreiche Wasserblasen, Eisnadeln und andere Fremdkörper enthält und in fortwährender Wallung begriffen ist, so erfährt der Lichtstrahl in allen Teilen der Lufthülle kleine Absplitterungen durch Reflexionen. Es ist ähnlich wie beim Auffallen des Sonnenlichtes auf den Staub im Zimmer oder den Weihrauch in der Kirche: die einzelnen Teilchen fangen Lichtstrahlen auf und werfen diese beständig einander zu, so daß sich die ganze Masse wie ein selbstleuchtender Körper verhält. Ebenso wird die Luft von dem Sonnenlicht durchstrahlt, das natürlich hierbei merklich geschwächt wird.

Steht nun die Sonne z. B. so, daß sie für den Ort X im Horizonte erscheint, so wird der Beobachter in W eine Durchstrahlung des ganzen Gebietes $D_1 E_1 Z A B C D$ wahrnehmen, obgleich die Sonne für ihn schon untergegangen ist. Dieses Gebiet ist leicht auch räumlich aufzufassen. Hat man durch Drehung der Figur um O W Z den kugeligen Erdkörper mit seiner Lufthülle entstehen lassen, so beschreibt man um die Erde einen Cylindermantel, indem man aus der als unendlich fern gedachten Sonne sämtliche Tangenten an die Erdkugel zieht. Diese Tangenten bilden einen Cylindermantel, der die Grenze der Atmosphäre beim Austritt in einem kleinen Kreise, dem Dämmerungskreise, durchschneidet. Das Stück des Dämmerungskreises, welches über dem Horizonte von W liegt, ist der Dämmerungsbogen. Er zerlegt die sichtbare Himmelshalbkugel in zwei Teile; der eine, an der Sonnenseite gelegene, wird durchstrahlt und heißt das Dämmerungsegment, der andere liegt im Schatten der Erdkugel selbst und erscheint dunkel. Die Grenze ist ziemlich unscharf; sie zeigt sich im roten Lichte, das der Absorption am längsten widersteht.

---

[1] Der Einstrahlungswinkel für das Auge ist natürlich für alle Zenithdistanzen derselbe, nämlich 0°.

Hätte die Atmosphäre die in der Figur angegebene feste Grenze, so ließe sich leicht ermitteln, bei welcher Zenithdistanz der Sonne die Dämmerung noch zu sehen ist. Bei tiefer sinkender Sonne steigt nämlich der Dämmerungsbogen an der Schattenseite auf, und indem nun der Schatten zum Zenith aufsteigt und dann an der Sonnenseite herabsinkt[1], vergrößert sich der Schatten mehr und mehr auf Kosten des Dämmerlichtes. Zieht man aus C eine zweite Tangente CU an die Erdkugel, so bezeichnet ∢ ZWU die Zenithdistanz der Sonne, bei welcher der letzte Rest des Dämmerlichtes verschwindet. Nun ist $\sin ZWU = \sin OWU = \sin WCO = r : (r + h)$, wenn r den Erdhalbmesser, h die Höhe der Atmosphäre bedeutet. Dadurch ergäbe sich ein Mittel, die Höhe der Lufthülle zu bestimmen. Thatsächlich nimmt nun aber die Dichte der Atmosphäre und damit auch ihre Reflexionsfähigkeit so allmählich nach oben ab, daß es sich nicht um die Bestimmung ihrer Höhe an sich handeln kann, sondern nur um einen Schluß auf die ungefähre Höhe des durchstrahlungsfähigen Gebietes. Sie mag nach den zu diesem Zwecke angestellten Dämmerungsbeobachtungen etwa 75 km betragen. Daß die Atmosphäre an sich in viel größere Höhen hinaufgeht, verraten die Meteorbeobachtungen[2], die selbst in Höhen von mehreren hundert km eine deutliche Bewegungshemmung anzeigen. — Die leuchtenden Nachtwolken[3] reflektieren das Sonnenlicht aus einer Höhe von etwa 82 km.

Da von einer scharfen Grenze zwischen Tag und Nacht bei der allmählichen Abnahme der Abendhelle nicht geredet werden kann, so verbindet man mit bestimmten Zenithdistanzen der Sonne bestimmte Beleuchtungszustände erfahrungsgemäß, wenngleich mit einiger Willkür. Nach dem Vorgange des arabischen Astronomen *Alhazen* (um 1000 n. Chr.) wird die Grenze der *astronomischen Dämmerung* bei der Zenithdistanz von 108° angenommen, also wenn die Sonne 18° unter dem Horizonte steht. Andere haben diesen Wert und damit die Zeit der Morgen- und Abenddämmerung etwas verkleinern zu sollen geglaubt; man ist bis auf 104° (14°) gegangen. Es wird angenommen, daß vor der astronomischen Morgen- und nach der astronomischen Abenddämmerung die Sterne 6. Größe gesehen werden können und kein erleuchteter Kreis sichtbar ist — abgesehen natürlich vom Mondlichte. Dagegen werden Anfang und Ende der *bürgerlichen* Dämmerung durchschnittlich bei der Zenithdistanz von 97° anzunehmen sein. Es sind die Zeitpunkte, nach und vor denen am Morgen und Abend gewöhnliche Druckschrift im Freien ohne merkliche Anstrengung gelesen werden kann. Man giebt die bürgerliche Dämmerung auch wohl als die Zeit der

---

[1] Ὀρώρει δ' οὐρανόθεν νύξ. Dieser bezeichnende homerische Ausdruck wird von Voß gut wiedergegeben durch die Worte: es sank vom Himmel herab Nacht; weniger wörtlich, aber ebenso verständnisvoll von Virgil: ruit Oceano nox.

[2] Vgl. Kap. 32. [3] Vgl. *Jakob*, Unsere Erde (2. Aufl.) S. 188—190.

Unsichtbarkeit der Sterne 1. Größe vor und nach dem hellen Tage an und glaubt dann Zenithdistanzen zwischen 95° und 98° annehmen zu dürfen. Das ist jedoch sehr unsicher, denn die hellsten Sterne sind an Glanz untereinander gewaltig verschieden, und es kommt auch sehr auf ihre Zenithdistanz und ihre Lage zum Dämmerungssegmente an. Beobachtungen über das Verschwinden der hellen Sterne in der Morgendämmerung und ihr Auftauchen am Abendhimmel können von einigem Werte sein, und sie lassen sich sehr leicht anstellen; es genügt, wenn die Zeitangaben auf die Minute genau sind.

Wenn in der 7. Formel des sechsten Kapitels (S. 43) die Höhe gleich $-\eta$ oder $-\vartheta$ gesetzt wird, wo $\eta = 18^0$ und $\vartheta = 7^0$ die Sonnenhöhen beim Beginne der astronomischen und der bürgerlichen Morgendämmerung sind, so kann man für die Stundenwinkel t_1 und t_2 in diesen Zeitpunkten leicht die Formeln bilden:

$$\cos t_1 = \frac{-\sin\eta - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta},$$

$$\cos t_2 = \frac{-\sin\vartheta - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}.$$

Da nun für den Stundenwinkel beim Aufgange die Gleichung

$$\cos t_0 = -\tan\varphi \tan\delta$$

gilt (VI, 8), so ist die Dauer der Morgendämmerung als Differenz $t_1 - t_0$ oder $t_2 - t_0$ in Zeitmaß leicht zu finden. Für die Abenddämmerung gilt dieselbe Zahl mit umgekehrtem Zeichen. Die Minima für die astronomische Dämmerung findet man im mittlern Europa in den Monaten März und Oktober.

Allgemein findet man für die Dauer τ der kürzesten Dämmerung an einem Orte und für die entsprechende Sonnendeklination die Formeln:

$$\sin\frac{1}{2}\tau = \frac{\sin\frac{1}{2}\eta}{\cos\varphi}; \ \sin\delta = -\tan\frac{1}{2}\eta \sin\varphi.$$

Auf die Herleitung dieser Formeln, in denen man noch behufs Berechnung der bürgerlichen Dämmerung η durch ϑ ersetzen wird, kann hier nicht eingegangen werden.

In der untern Kulmination hat ein Gestirn die Zenithdistanz $z = 180^0 - (\varphi + \delta)$. Ist für die Sonne $\varphi + \delta > 72^0$, so fällt auch die wahre Mitternacht noch in das Dämmerlicht im astronomischen Sinne: unsere Tafel der Deklinationen (S. 71) läßt die Anfangs- und Schlußtage der hellen Nächte leicht ableiten. Für Münster in Westfalen z. B. ist $\varphi = 51^0\,58'$; es muß also $\delta > 20^0\,2'$ sein, was am Abend des 20. Mai zuerst und am Morgen des 23. Juli zuletzt eintritt[1].

---

[1] Lieblich sind die Juninächte,
Wenn des Abendrots Verglimmen
Und des Morgens frühe Lichter
Dämmernd ineinander schwimmen.
(Dreizehnlinden.)

Wo $\varphi < 72^0 - 23^0\,28' = 48^0\,32'$, da giebt es keine hellen Nächte mehr, also etwa im Süden des Parallels von Straßburg ($48^0\,35'$). Weiter nach Norden nimmt die nächtliche Sommerhelle nach Dauer und Stärke zu. Ist $\varphi + \delta > 83^0$, so fällt die wahre Mitternacht auch noch in die bürgerliche Dämmerung, d. h. man kann dort die ganze Nacht hindurch im Freien lesen. Für Petersburg, wo $\varphi = 59^0\,57'$ ist, findet das vom 10. Juni bis zum 2. Juli statt; alles unter der Voraussetzung, daß die Zenithdistanzen 108^0 und 97^0 im Durchschnitt richtig angenommen sind[1].

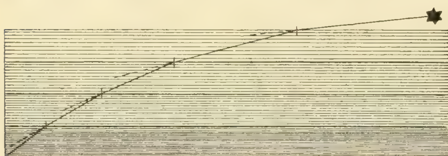


Fig. 33. Gang eines Lichtstrahles in der Atmosphäre.

Die Zurückwerfung des Sonnenlichtes durch die Luftteilchen und die irdischen Gegenstände ist die Ursache des allgemeinen Tageslichtes. Sie mildert die Schärfe der Schatten, da das zerstreute Licht überall eindringt. Daß es hauptsächlich die Luft ist, der wir das Tageslicht verdanken, zeigt sich an der Mondkugel, die, wie wir später sehen werden, eine Lufthülle, die sich mit der irdischen vergleichen ließe, nicht besitzt. Der Mond hat darum sehr scharfe Unterschiede zwischen Licht und Schatten[2].

* * *

Die Strahlen der Himmelslichter werden in der Lufthülle der Erde nicht nur zurückgeworfen, sondern auch gebrochen. Sie gelangen ja vom Weltraum in immer dichtere Luftschichten, werden also beständig dem Einfallslote genähert. Die absichtlich übertriebene Darstellung Fig. 33 läßt dieses deutlich erkennen. In Wahrheit verringert sich die Geschwindigkeit des Lichtes in der Atmosphäre nicht sprungweise, sondern stetig, wie ja die Dichtigkeit der Luft nach unten hin auch stetig zunimmt. Der Lichtstrahl beschreibt also nicht eigentlich die gebrochene

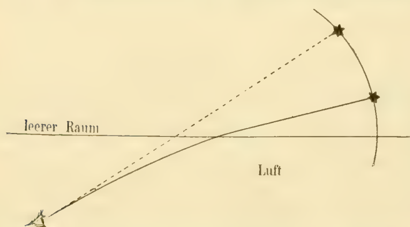


Fig. 34. Verkleinerung der Zenithdistanz durch die Refraktion.

[1] In die eigentliche Astronomie gehört die Besprechung des Dämmerungsphänomens nur insoweit, als der Beobachter des Himmels dabei interessiert ist. Im übrigen muß auf andere Bücher (z. B. Günthers Geophysik) verwiesen werden. — Für die Tropen ergiebt die Formel die sehr kurzen Dämmerungsdauern, wie sie aus Reiseberichten wohlbekannt sind.

[2] Vgl. Kap. 12 und 25.

Linie der Fig. 33, sondern eine Kurve wie in Fig. 34. Das Auge, welches den Lichtstrahl aufnimmt, versetzt den Körper, von dem jener kommt, in die Richtung der letzten Tangente an diese Kurve, also der gestrichelten Linie der Fig. 34. Wir sehen also alle Sterne in geringern Zenithdistanzen, als wir eigentlich sollten. Man sieht mit Hilfe des oben (S. 88) mitgeteilten Lichtbrechungssatzes leicht ein, daß die Winkelverschiebung, welche der Strahl erleidet, mit der Zenithdistanz erst langsam, dann schneller wächst. Die Refraktion oder der Winkel, den man zur beobachteten scheinbaren Zenithdistanz addieren muß, um die wahre zu erhalten, wird für das Zenith selbst gleich null und erreicht im Horizonte sein Maximum. Für die Größe der Refraktion giebt Bessel nachstehende Tafel, wo z die scheinbare Zenithdistanz und ρ die Refraktion bedeutet.

Refraktionstafel.

z	ρ	z	ρ	z	ρ	z	ρ
0°	0′ 0″,0	55° 0′	1′ 22″,3	81° 0′	5′ 49″,3	86° 30′	12′ 48″,3
5	0 5,1	60 0	1 39,7	81 30	6 8,4	87 0	14 14,6
10	0 10,2	65 0	2 3,2	82 0	6 29,6	87 30	16 0,9
15	0 15,5	70 0	2 37,3	82 30	6 53,3	88 0	18 8,6
20	0 21,0	75 0	3 32,1	83 0	7 19,7	88 30	20 50,9
25	0 26,9	76 0	3 47,4	83 30	7 49,5	89 0	24 24,6
30	0 33,3	77 0	4 4,9	84 0	8 23,3	89 10	25 49,8
35	0 40,4	78 0	4 25,0	84 30	9 1,9	89 20	27 22,5
40	0 48,4	79 0	4 48,5	85 0	9 46,5	89 30	29 3,5
45	0 57,7	80 0	5 16,2	85 30	10 39,6	89 40	30 52,3
50	1 8,7	80 30	5 32,0	86 0	11 38,9	89 50	32 49,2
55	1 22,3	81 0	5 49,3	86 30	12 48,3	90 0	34 54,1

Diese Tafel gilt für einen mittlern Zustand der Atmosphäre, nämlich für 10° C und 752 mm Barometerstand. Da nämlich mit steigendem Barometer und mit fallendem Thermometer die Dichtigkeit der Luft zunimmt, so nimmt auch die Refraktion zu. Wir müssen auf die Wiedergabe der von Bessel, Ivory u. a. zur genauen Berechnung der Refraktion angegebenen Formeln hier verzichten. Der Ausdruck

$$\rho = 57'',7 \tan z - 0'',066 \tan^3 z$$

entspricht im ganzen unserer Tafel; man kommt in geringern Zenithdistanzen mit dem ersten Gliede der rechten Seite aus.

Durch die Refraktion wird für uns der Anblick des Himmels ein wenig verzerrt. Unsere frühere Angabe, daß der Winkel, den die Richtungslinien nach zwei Fixsternen miteinander bilden, von der Lage des irdischen Beobachtungsortes unabhängig ist, gilt, wie wir jetzt berichtigend vermerken

müssen, genau erst nach Berücksichtigung der Refraktion. Und auch alle unsere Angaben über die tägliche Bewegung und die Anordnung der Sphäre gelten erst dann genau, wenn alle Höhen um die Refraktion vermindert sind. Übrigens wird für das unbewaffnete Auge der Anblick des Himmels durch die Refraktion doch nur wenig geändert, da sie ja erst in 73° Zenithdistanz den Betrag von 3 Bogenminuten überschreitet. — Da die Kulmination nur die Höhen und nicht die Azimute ändert und der Meridian nicht nur Stundenkreis, sondern auch Vertikalkreis ist, so wird die Zeit der Kulmination eines Sternes durch die Strahlenbrechung nicht geändert; ebensowenig die Zeit des Durchganges durch den ersten Vertikalkreis. Wohl aber werden die Zeiten des Auf- und Unterganges verschoben. Es ist klar, daß die Sonne für uns nicht dann untergeht, wenn ihre wahre Zenithdistanz 90° 0′, sondern erst, wenn sie 90° 35′ beträgt[1]. Um den Unterschied zwischen den Zeiten des wahren und des scheinbaren Unterganges zu finden, setzen wir in Kap. 6, Formel (7) die Höhe für den scheinbaren Aufgang = — 0° 35′, für den wahren = 0° 0′ und erhalten:

$$-\sin 35' = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\cos t_s, \quad . \quad (1)$$

$$\sin\ 0' = \sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\cos t_w. \quad . \quad (2)$$

Hier sind t_s und t_w die Stundenwinkel beim scheinbaren und wirklichen Untergange; φ ist natürlich konstant, und auch δ kann nicht nur für die Sterne, sondern auch für die Sonne als konstant angesehen werden, da die Änderung in der Zwischenzeit äußerst gering ist. Subtrahiert man (1) von (2) und teilt durch $\cos\varphi\cos\delta$, so wird

$$\frac{\sin 35'}{\cos\varphi\cos\delta} = \cos t_w - \cos t_s. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Hierauf wenden wir die Subtraktionsformeln[2] der Trigonometrie an; es ergiebt sich, wenn man noch den sin des kleinen Winkels 35′ mit seinem arcus vertauscht und diesen in Zeitmaß ausdrückt:

$$\frac{140^s}{\cos\varphi\cos\delta} = +2\sin\frac{1}{2}(t_s + t_w)\sin\frac{1}{2}(t_s - t_w). \quad (4)$$

Nun ist t_w nur wenig kleiner als t_s; ohne merklichen Fehler dürfen wir den Unterschied differentiell behandeln[3], also $\sin\frac{1}{2}(t_s + t_w) = \sin t$, sowie $\sin\frac{1}{2}(t_s - t_w) = \text{arc}\,\frac{1}{2}(t_s - t_w)$ oder auch einfach gleich $\frac{1}{2}(t_s - t_w)$ setzen. Mit Rücksicht auf den Faktor 2 erhält man dann

$$t_s - t_w = \frac{140^s}{\cos\varphi\cos\delta\sin t}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

[1] Bei der Veränderlichkeit der Größe und der gewöhnlichen Unklarheit des Horizontes wäre es zwecklos, die Sekunden zu berücksichtigen.

[2] S. 47, Note 1. [3] Vgl. S. 47 und 83.

Für Karlsruhe und den Sirius z. B. (vgl. S. 44) ergeben sich die Werte:

$$\begin{aligned} \log \cos \varphi &= 9{,}8169 \\ \log \cos \delta &= 9{,}9815.7 \\ \log \sin t &= 9{,}9729.8 \\ \log 140 &= 2{,}1461 \\ -\overline{\log (t_s - t_w)} &= 7{,}6253.5 \\ \log (t_s - t_w) &= 2{,}3746.5 \\ &= \log 237. \end{aligned}$$

Der Tagebogen des Sirius wird also für Karlsruhe durch die Refraktion beiderseits je um $3^m\ 57^s$ verlängert. Das obige Rechnungsverfahren ist das einfachste, da es die gleichzeitige Addition und Subtraktion aller vier Größen gestattet. Der Leser möge das andere Beispiel des 6. Kapitels (Altair für Karlsruhe) ebenso berechnen. Auch die Tagebogen der Sonne (S. 83—84) lassen sich nun ganz genau berechnen, und man wird finden, daß sie, bis auf etwaige Abrundungsfehler, mit den vom Berliner Jahrbuch angesetzten übereinstimmen.

Die scheinbaren Durchmesser von Mond und Sonne (vgl. S. 66) betragen im Durchschnitt etwas mehr als einen halben Grad. Da nun die Refraktion in der Nähe des Horizontes gleichfalls diesen Betrag erreicht, so ergiebt sich, daß das Tages- oder Nachtgestirn noch eben vollständig unter dem Horizonte ist, wenn es eben vollständig aufgegangen zu sein scheint. Die bedeutende Refraktionsänderung in dieser Gegend verzerrt aber auch die Gestalt von Mond und Sonne. Diese Himmelskörper haben ja scheinbar die Gestalt von Kreisscheiben[1]; berührt nun der untere Sonnenrand scheinbar den Horizont, so ist er um 35′ gehoben; der obere aber, den wir in der Höhe eines halben Grades sehen, ist nur um 29′ gehoben, d. h. der vertikale Durchmesser der Kreisscheibe ist gegen den unveränderten horizontalen Durchmesser nahezu im Verhältnisse 29 : 35 verkürzt worden, und in demselben Verhältnisse alle zu ihm parallelen Linien, die man über die Sonnenscheibe ziehen kann. Aus der Mathematik ist bekannt, daß eine Kreisfläche durch gleichmäßige Verkürzung aller zu einem Durchmesser parallelen Linien in eine elliptische Fläche verwandelt wird. Mond und Sonne erscheinen uns also im Horizonte als Ellipsen[2]. Das bemerkt bei guter Luft schon das aufmerksame Auge des unbefangensten Beobachters; deutlich zeigt uns diese Erscheinung, daß wir in der That genötigt sind, alle beobachteten Zenithdistanzen um die Refraktion zu vermehren, um von dem Stande der Himmelskörper ein treues Bild zu erhalten.

---

[1] Ihre Umrisse sind kleine Kreise an der Sphäre.

[2] Die zu den einzelnen Umfangspunkten gehenden Gesichtslinien erfüllen (nahezu) einen elliptischen Kegel. — Über die Eigenschaften der Ellipse siehe S. 57 ff.

Es werden zuweilen auch sehr schwache seitliche Refraktionen beobachtet; da sie aber zu gering sind, um selbst von den Astronomen regelmäßig untersucht zu werden, so können wir hier von ihrer Besprechung absehen [1].

* * *

Das Funkeln oder die Scintillation der Sterne ist für die Dichter ein beliebtes Motiv, für die Meteorologen eine merkwürdige, sogar zur Wettervoraussage benutzbare Lichterscheinung, für die Astronomen aber nur ein ziemlich lästiges Hindernis ihrer Arbeiten. Arago hat das Funkeln der Fixsterne durch die Interferenz ihrer Lichtstrahlen erklärt. „Die Fixsterne [2] stellen sich bekanntlich auch unter den am schärfsten vergrößernden Fernrohren nur als unteilbare Punkte dar; die verschiedenen Lichtstrahlen, welche von einem solchen Punkte ausgehen, erleiden, da sie Luftschichten von verschiedener Zusammensetzung zu durchwandern haben, Verzögerungen von ungleicher Größe, und es muß sich deshalb ihre Wirkung auf das Auge nach den Grundsätzen der Vibrationstheorie entweder verstärken oder aufheben, je nachdem der Gangunterschied ein gerades oder ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge ausmacht. Der Stern sendet weißes, d. h. aus allen Farben zusammengesetztes Licht aus, und in dem Augenblicke, in dem die roten Strahlen sich vernichten, können die Umstände etwa für das kräftigere Auftreten der grünen oder blauen Strahlen günstig liegen, so daß auch der Farbenwechsel erklärt ist. Die Planeten im Gegenteile erscheinen als Scheiben von merkbarem Durchmesser; jeder Punkt dieser Scheiben sendet für sich Licht aus, und das Funkeln all dieser Punkte bringt in Wirklichkeit die gegenseitige Neutralisierung zu stande. Je ruhiger die Luft ist, wie z. B. zwischen den Wendekreisen, um so weniger lebhaft tritt das Phänomen der Scintillation hervor."

Eine glühende Kohle, die man schnell im Kreise bewegt, erscheint als geschlossener Lichtring, weil die Reizung der Netzhaut lange anhält. Man kann auch einem Fixstern in Bezug auf das Auge eine Bewegung dieser Art erteilen, indem man ihn mit einem schwach vergrößernden holländischen Fernrohr [3] betrachtet und dieses aus freier Hand eine Kegelbewegung mit engem Öffnungswinkel ausführen läßt. Aber man sieht dann keinen zusammenhangenden Ring, sondern eine prächtige Perlschnur von einzelnen, verschieden gefärbten Lichtpunkten. Was bei der unmittelbaren Betrachtung zeitlich getrennt war, die verschiedenfarbigen Bilder, das wird hier räumlich getrennt. Der Gedanke liegt dem Scintillometer zu Grunde, einer

[1] Noch immer fraglich ist die Thatsächlichkeit des früher häufig beschriebenen Sternschwankens.

[2] Aus Günther, Geophysik (II, 128) hier wiedergegeben. — Neuestens hat T. J. J. See die Sache schärfer untersucht. Vgl. Astron. Nachrichten 3455.

[3] Vgl. Kap. 38.

Vorrichtung; mit deren Hilfe Montigny den Grad der Scintillation zu bestimmen gewußt hat.

Nur wenigen, besonders gut gebauten Augen erscheinen die Fixsterne wirklich als unteilbare Punkte. Die Krystallinse des menschlichen Auges ist ein Organ, dessen Veränderlichkeit für verschiedene Gegenstandsweiten unsere höchste Bewunderung herausfordert. Diese Veränderlichkeit beruht auf einem faserigen Gefüge, und dieses scheint es eben zu sein, das für die meisten Augen den Eindruck eines unteilbaren Sternpunktes nicht aufkommen läßt. Die Lichteindrücke auf der Netzhaut haben vielmehr strichartige Verlängerungen nach verschiedenen Seiten, die in ihrer Gesamtheit das Bild darstellen, das man in der Symbolik mit dem Namen eines Sternes * verbindet. Die Größe und Deutlichkeit dieser Sternfigur[1] hängt in erster Linie vom Bau der Linse und der Netzhaut ab. Sie bewirkt u. a., daß Sterne, die einander an der Sphäre sehr nahe stehen, nicht leicht mit unbewaffnetem Auge getrennt werden. — Hierbei sei noch bemerkt, daß Kurzsichtigen die hellern Sterne als große Kugeln erscheinen, weil anstatt eines scharfen ein verschwommenes Bild auf der Netzhaut entsteht.

Elftes Kapitel.

Die tägliche Parallaxe. — Entfernung und Größe des Mondes.

Die Fixsterne dürfen, wie wir aus Kap. 3 wissen, als unendlich ferne Punkte angesehen werden. Nicht so die übrigen Himmelskörper. Der Mond z. B. steht uns so nahe, daß die von zwei verschiedenen Beobachtungsorten aus auf denselben Punkt seiner Scheibe gerichteten Fernrohre keineswegs als parallel gelten dürfen. Es möge die Erde in Fig. 35 für einen Augenblick als vollkommene Kugel gelten. Dann sei A der Beobachtungsort, M der Mittelpunkt des Mondes, E der Erdmittelpunkt. AZ ist die Vertikale des Ortes, AH′ ist die Spur seiner scheinbaren Horizontalebene, EH die Spur seiner wahren oder mathematischen Horizontalebene[2]. Beobachteten wir unter Zugrundelegung des mathematischen Horizontes den Mond aus E, so würden wir die Zenithdistanz z und die Höhe h zu verzeichnen haben. Da wir ihn aber aus A beobachten,

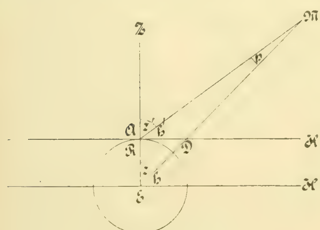


Fig. 35. Höhenparallaxe.

[1] Die Figur war schon den alten Ägyptern geläufig.

[2] Vgl. S. 55—56.

so erscheint[1] er in der vergrößerten Zenithdistanz z' oder in der verkleinerten Höhe h'. Der Winkel $p = z' - z = h - h'$, um den man die scheinbare Zenithdistanz vermindern oder die scheinbare Höhe vermehren muß, um die wahre Zenithdistanz oder -Höhe zu erhalten, heißt die Höhen-Parallaxe des Mondes; sie ändert sich mit z im Laufe der täglichen Bewegung. Nach dem Sinussatze hat man

$$\sin p = \frac{R}{D} \sin z', \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

wenn R den Erdradius und D den Abstand des Mondes bezeichnet. Wird $z = 90^0$, steht also der Stern im wahren Horizonte, so erreicht $\sin p$ sein Maximum $\frac{R}{D}$, da $\sin z$ sein Maximum 1 erreicht. Dieser Wert $\frac{R}{D}$ heißt die Horizontal-Parallaxe.

Nun ist aber die Erde bekanntlich ein Sphäroid und keine vollkommene Kugel. Unser Ausdruck für die Höhenparallaxe darf daher nicht als absolut richtig gelten, obschon er bei dem geringen Betrage der Abplattung doch der Wahrheit sehr nahe kommt. In Wirklichkeit fällt, wie Fig. 24 (S. 60) zeigt, die Richtung der Schwerkraft, also die Normale der Oberfläche, nur am Äquator und an den Polen, aber nicht in mittlern Breiten mit der Richtung zum Centrum der Erdkugel zusammen. Wir müssen hier auf die Ableitung der schärfern Formeln verzichten, wollen aber doch zeigen, daß in einem besondern Falle die Sache ziemlich einfach liegt. Die Ebene der Zeichnung Fig. 24 ist offenbar die Meridianebene des Punktes P; sie enthält nicht nur den lokalen Erdradius CP (vgl. S. 60), sondern auch die Normale NP, deren Verlängerung über P hinaus die Vertikale ist. Steht nun der Mond im Meridian des Ortes, und zwar südlich vom Zenith, so macht eine vom Beobachtungsorte zum Monde gehende Linie mit der Vertikalen den Winkel ζ — die wahre Zenithdistanz —, mit dem lokalen Erdradius aber den Winkel $\zeta - (\varphi - \varphi')$, in der entgegengesetzten Kulmination $\zeta + (\varphi - \varphi')$. Und wenn wir nun $z' = \zeta \pm (\varphi - \varphi')$ setzen, je nach der Stellung des Mondes und der Art der Kulmination, so gilt, wo immer der Mond im Meridian steht,

$$\sin p = \frac{r}{D} \sin z'.$$

Hier ist r der lokale Erdradius. Außerhalb der Kulmination liegt die Sache, wie gesagt, schwieriger; hier betrifft die Parallaxe nicht nur die Zenithdistanz, sondern, obgleich in sehr geringem Betrage, auch das Azimut.

Es möge nun an zwei Orten, die auf demselben Meridian liegen, aber in den entgegengesetzten geographischen Breiten $+\varphi$ und $-\varphi$, ein Durch-

[1] Nachdem diese Größen von der in umgekehrtem Sinne und nach ganz andern Gesetzen wirkenden Refraktion befreit sind.

gang des Mondes durch die gemeinsame Meridianebene beobachtet werden. Man notiert ihn an beiden Orten nach derselben Zeit, etwa der gemeinsamen mittlern Ortszeit; außerdem verzeichnet man an jedem Orte die zunächst mit Rücksicht auf Refraktion verbesserte Zenithdistanz ζ; man leitet daraus an jedem Orte die Größe z ab, die nunmehr die scheinbare Zenithdistanz MAZ, genauer, mit Rücksicht auf Fig. 24, den Winkel der Gesichtslinie mit dem Erdradius am Beobachtungsorte darstellen soll. Beachten[1] wir nun, daß zu der Breite φ derselbe lokale Radius r gehört wie zu $-\varphi$, und versehen wir die für den südlichen Ort gültigen Bezeichnungen mit dem Accente, so folgt aus $\sin p = \frac{r}{D} \sin z$ und $\sin p' = \frac{r}{D} \sin z'$ die Proportion

$$\frac{\sin p}{\sin p'} = \frac{\sin z}{\sin z'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Wendet man auf diese Proportion das Verfahren an, das in der Algebra unter dem Namen der korrespondierenden Addition bekannt ist und hauptsächlich beim Auflösen von Gleichungen verwandt wird, so erhält man

$$\frac{\sin p - \sin p'}{\sin p + \sin p'} = \frac{\sin z - \sin z'}{\sin z + \sin z'}.$$

Die hier stehenden Summen und Differenzen lassen sich aber nach der von uns mehrfach befolgten Art in Produkte verwandeln; man erhält unter Weglassung des Faktors 2:

$$\frac{\sin \frac{p - p'}{2} \cdot \cos \frac{p + p'}{2}}{\sin \frac{p + p'}{2} \cdot \cos \frac{p - p'}{2}} = \frac{\sin \frac{z - z'}{2} \cdot \cos \frac{z + z'}{2}}{\sin \frac{z + z'}{2} \cdot \cos \frac{z - z'}{2}};$$

dann nach bekannten Definitionen:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\tan \frac{p - p'}{2}}{\tan \frac{p + p'}{2}} &= \frac{\tan \frac{z - z'}{2}}{\tan \frac{z + z'}{2}} \\ \text{oder } \tan \frac{p - p'}{2} &= \tan \frac{p + p'}{2} \cdot \tan \frac{z - z'}{2} \cdot \operatorname{cotan} \frac{z + z'}{2} \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Nun aber kann man $\frac{p + p'}{2}$ unmittelbar aus Fig. 35 bestimmen; da, wenn man den zweiten Beobachtungsort mit B bezeichnet denkt, $p = \sphericalangle z - AEM$ und $p' = z' - BEM$, so ist

$$\frac{p + p'}{2} = \frac{1}{2} (z + z' - BEA) = \frac{1}{2} (z + z' - 2 \varphi'),$$

wenn wir beachten, daß die geographischen Breiten φ, also auch die geocentrischen Breiten φ' der Orte, einander entgegengesetzt gleich sind. Man

[1] Den allgemeinen Fall, wo φ nicht $= -\varphi'$, übergehen wir hier, weil die Formeln ein wenig verwickelter ausfallen würden. Schwierigkeiten bietet er nicht, wie man leicht einsieht.

erhält also $\frac{p + p'}{2}$ aus den Beobachtungen, daraus weiter mit Hilfe der obigen Tangentenformel $\frac{p - p'}{2}$, endlich $p = \frac{p + p'}{2} + \frac{p - p'}{2}$ und $p' = \frac{p + p'}{2} - \frac{p - p'}{2}$.

Da $\sin p = \frac{r}{D} \sin z$ und $\sin p' = \frac{r}{D} \sin z'$ ist, hat man nicht nur eine einfache Probe für die Richtigkeit an der Proportion (2), sondern man kann auch $\frac{r}{D}$, d. h. das Verhältnis des lokalen Erdradius zum Abstande des Mondes vom Centrum der Erde, direkt ableiten. Die Parallaxe lehrt also den Abstand des Mondes kennen, sobald die Erdradien der Beobachtungsorte bekannt sind. Nun kennt man diese aus den Erdmessungen im Metermaße; man kann also auch die Entfernung des Mondes in diesem Maße angeben.

Der größte Erdradius ist der des Äquators. Zu ihm gehören also auch die größten Parallaxen. Setzt man[1] $\sin p_0 = \frac{637{,}7}{D}$, wo der Zähler der in myriom ausgedrückte Äquatorradius, der Nenner die in demselben Maße angegebene Entfernung des Mondes ist, so heißt p_0 die Horizontal-Äquatorial-Parallaxe des Mondes; den Beobachtungen zufolge ist sie etwas veränderlich; ihr Mittelwert beträgt $0^0\,57'\,2'',06$, und dem entspricht eine mittlere Entfernung des Mondmittelpunktes vom Erdmittelpunkte, die gleich 60,2778 Äquatorradien oder 38 442 myriom ist. (Es ist $\sin 0^0\,57'2'',06 = 1 : 60{,}2778$.) Die Horizontal-Äquatorialparallaxe des Mondes ist zuweilen etwas kleiner, dann wieder etwas größer als der angegebene Mittelwert. Dementsprechend schwankt sein Abstand von uns zwischen 40 552 und 36 331 myriom. Die Schwankungen der scheinbaren Größe zeigt Fig. 36.

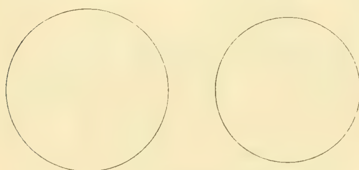


Fig. 36. Mondgröße im Perigäum und Apogäum.

Der Mond hat, wie wir wissen, einen ziemlich bedeutenden scheinbaren Durchmesser. Am größten ist derselbe, wenn auch die Parallaxe am größten, d. h. der Mond uns am nächsten ist; am kleinsten im entgegengesetzten Falle. In mittlerer Entfernung erscheint der Mond als Kreisscheibe mit dem Radius von $0^0\,15'\,33''$. Sein wahrer Radius r_m wird dann offenbar durch die Gleichung $\frac{r_m}{D} = \operatorname{arc} 0^0\,15'\,33''$ gegeben, wo $D = 38\,442$ myriom

[1] Der sin kann bei diesem kleinen Winkel mit dem arc und der tan vertauscht werden; so auch weiter unten.

ist; es ergiebt sich $r_m = 173{,}9$ myriom $= 0{,}27264$ vom Erdradius. Vgl. Fig. 37, wo AB der wahre Durchmesser, $AS = r_m$ ist; es ist ferner $OS = D$, wenn O den Beobachtungsort angiebt; $\sphericalangle$ AOS ist der scheinbare Radius, dessen tan bei der geringen Größe mit dem arc vertauschbar ist[1]. Eine Abplattung der Mondscheibe ist bis jetzt nicht beobachtet worden. Der Frage, ob der Mond, gleich unserer Erde, kugelförmig ist, werden wir im folgenden Kapitel näher treten.

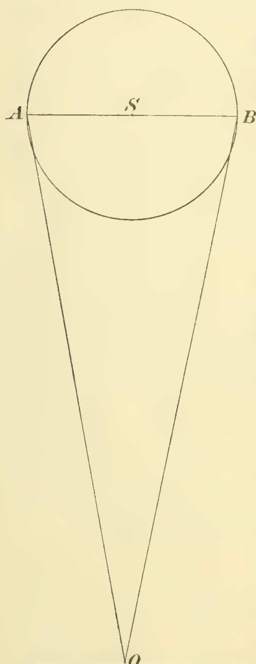


Fig. 37. Scheinbarer Durchmesser eines Gestirns.

Es giebt nur wenige Himmelskörper, für die sich die tägliche Parallaxe auf dieselbe Art ableiten läßt wie für den Mond. Die tägliche Parallaxe eines Fixsternes ist verschwindend klein, d. h. jeder Fixstern ist für irdische Verhältnisse unermeßlich weit entfernt; aus der Gleichung $\sin p_0 = \frac{r}{D} = 0$ folgt ja sofort $D = \infty$.

Von einigen Planeten, wie Venus, Mars und bestimmten kleinen Planeten, hat man in besonders günstigen Stellungen die Parallaxen messen können; sie sind sehr viel kleiner als die des Mondes, d. h. die Entfernung jener Himmelskörper ist weit größer.

Versucht man eine direkte Bestimmung der Sonnenparallaxe, so zeigt sich, daß diese viel zu klein ist, um mit den jetzigen Hilfsmitteln der Wissenschaft genau gemessen zu werden. Wir werden später sehen, daß ihre Messung auf mehreren indirekten Wegen gelungen ist. So viel ist aber jetzt schon sicher: betrüge die Entfernung der Sonne selbst das 57fache der Mondentfernung, so würde sich ihre tägliche Parallaxe, die dann gleich 1′ wäre, durch direkte Messung sicher bestimmen lassen. In diesem Falle müßten wir die Sonne, da sie uns ungefähr ebensogroß wie der Mond erscheint, im Durchmesser für 57mal größer als diesen Himmelskörper halten. Der Sonnenradius wäre dann $57 \times 0{,}2726 = 15{,}54$mal so groß wie der Erdradius. Nun zeigen die Beobachtungen der Sonnenflecken zweifellos, daß die Sonne eine Kugel ohne Abplattung ist, und nicht eine Scheibe. Nach einem bekannten Satze

[1] Die Sekanten OA und OB können darum auch als Tangenten gelten

der Stereometrie wäre die Erdkugel $(15,77)^3$mal oder etwa 4000mal in dieser Sonnenkugel enthalten.

Thatsächlich wird aber eine an 1′ heranreichende Parallaxe nicht beobachtet; ohne also die wahre Parallaxe der Sonne jetzt schon zu kennen, werden wir doch aussagen dürfen: wenn die Sonnenkugel so ungeheuer viel größer ist als die Erdkugel, dann ist es kaum zu begreifen, daß sie jährlich um die kleine Erdkugel laufen soll. Daß dieselbe Erwägung in verstärktem Maße für den täglichen Umlauf gilt, haben wir früher (S. 20) betont.

Zwölftes Kapitel.

Bewegungen, Lichtwechsel und Gestalt des Mondes.

Will man die Bewegung des Mondes erforschen, so muß man auf dessen Parallaxe Rücksicht nehmen. Es ist das verhältnismäßig leicht. Da man einmal die mittlere Größe der Mondscheibe kennt, so wird man, wenn sie uns größer erscheint, auf eine geringere als die mittlere Entfernung schließen, und umgekehrt. Zudem wird der Mond an so vielen Sternwarten und von so vielen Schiffern auf hoher See beobachtet, daß für jeden Tag, wo er überhaupt sichtbar ist, seine Entfernung und scheinbare Größe leicht mit großer Genauigkeit nach ähnlichen Methoden wie die des vorigen Kapitels bestimmt werden kann. Man kann dann überall die für Refraktion verbesserten Zenithdistanzen auch für Parallaxe verbessern; und da die Durchgänge durch die Meridiane der einzelnen Orte ebensoviele Rektascensionsbestimmungen liefern, kann man den Lauf des Mondes sehr genau verfolgen.

Dieser Lauf ist nun ungemein verwickelt. Wenn wir im folgenden seine Hauptgesetze angeben, so muß bemerkt werden, daß auch sie der Wahrheit nicht völlig gerecht werden; es kommen kleine Abweichungen vor, die wir hier nicht berücksichtigen können, obgleich man sie im übrigen sehr genau kennt und vorausberechnet.

Zunächst ist die tägliche Bewegung des Himmels auszuschalten. Mag sie in Wahrheit stattfinden oder auf eine Achsendrehung des Erdballs zurückzuführen sein: der Mond macht sie mit, wie das auch die Sonne, die Planeten und Fixsterne thun. Aber wir müssen, was wir bei den Fixsternen nicht nötig haben, die Parallaxe abrechnen, d. h. seine Bewegung auf den Erdmittelpunkt umrechnen.

Dann hat der Mond, gleich der Sonne, eine eigene Bewegung um die Erde, aber eine viel schnellere. Während die Sonne ein volles Jahr gebraucht, um die Ekliptik zu durchwandern, beschreibt der Mond schon in etwas mehr als 27 Tagen einen Hauptkreis an der Sphäre. Dieser Kreis fällt nicht mit der Ekliptik zusammen, liegt ihr jedoch ziemlich nahe, da er nur unter einem Winkel von 5° 8′ 40″ gegen sie geneigt ist.

Zwei Hauptkreise schneiden sich, wie wir wissen, an der Sphäre in zwei gegenüberliegenden Punkten. Die Durchschnittspunkte der Mondbahn mit der Ekliptik heißen die Knoten der Mondbahn. Wo der Mond, von Süden her kommend, auf die Nordseite der Ekliptik übergeht, ist der aufsteigende Knoten; der andere ist der absteigende Knoten. Die alten Astrologen nannten jenen auch den Drachenkopf (caput draconis), während der absteigende Knoten Drachenschwanz (cauda draconis) genannt wurde. Es ist wohl zu beachten, daß diese Bezeichnungen mit dem Sternbilde des Drachen nicht das geringste zu thun haben.

In Fig. 38 ist der Kreis E♈E′ der Himmelsäquator, K♈C die Ekliptik, ♈ der Frühlingspunkt; LNL′ ist die Mondbahn, N der Drachenkopf, N′ der Drachenschwanz — alles an der Sphäre. Der hier übertriebene Neigungswinkel CNL′ ist gleich 5° 8′ 40″.

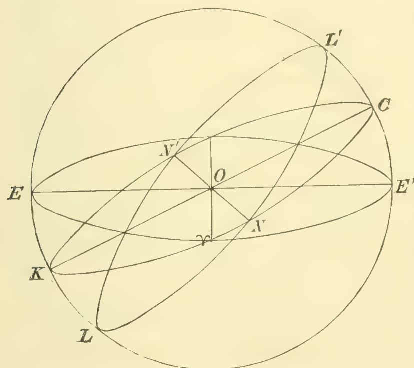


Fig. 38. Äquator, Ekliptik und Mondbahn.

Ferner muß vor zwei Verwechslungen gewarnt werden. Die Angabe, daß der Mond einen Hauptkreis um die Erde zu beschreiben scheint, soll nicht bedeuten, daß er wirklich im Kreise ginge. Wir wissen ja, daß sich sein Abstand von der Erde nicht immer gleich bleibt. Die Linie, die der Mond um die Erde beschreibt, ist in Wahrheit eine Ellipse, deren einen Brennpunkt die Erde einnimmt. Betrachten wir die Figur der Ellipse (S. 59, Fig. 23), dann sehen wir, daß hierbei die Entfernung beständig wechseln muß. (Die Brennpunkte sind F und F′.) Wenn wir nun sagen, daß der Mond an der Sphäre einen Hauptkreis beschreibt, so hat das den Sinn, daß seine Bahn in einer durch den Erdmittelpunkt gehenden Ebene liegt. So beschreibt ja auch die Sonne — ob wirklich oder nur scheinbar, entscheiden wir hier noch nicht — um die Erde eine Ellipse; sie ist uns, wie wir aus Kap. 8 (S. 66) wissen, zu Neujahr am nächsten und steht am 1. Juli in weitester Entfernung von uns. Trotzdem ist die Ekliptik an der Sphäre ein Kreis, da auch die Sonnenbahn in einer Ebene liegt. Und die weitere Angabe, daß Sonnen- und Mondbahn einander in den zwei Knoten schneiden, bedeutet nur, daß die Durchschnittslinie der beiden Bahnebenen an der Sphäre zwei Punkte bestimmt, den Drachenkopf und

den Drachenschwanz. In Wirklichkeit ist, wie wir vorhin (S. 103) gehört haben, die Sonne ihrer viel geringern Parallaxe wegen als viel weiter entfernt anzusehen denn der Mond.

Rektascension und Deklination des Mondes sind natürlich in fortwährender Änderung begriffen; die Rektascension wächst, da die Bewegung in demselben Sinne geschieht wie der jährliche Sonnenlauf, fortwährend an, um bei 24^h immer wieder auf null zurückzuspringen. Die Deklination schwankt hin und her zwischen plus und minus. Wir können den Mondort auch auf das Koordinatensystem der Ekliptik (S. 67—68) beziehen, also seine Länge und Breite angeben. Die Beobachtungen ergeben zwar unmittelbar die RA und Decl, aber wir wissen, daß man diese auf Längen und Breiten umrechnen kann. (Vgl. S. 81 ff.)

Steht der Mond im Breitenkreise des Frühlingspunktes, so ist seine Länge gleich 0^0. Man nennt nun die Zeit, welche der Mond gebraucht, um zu diesem Breitenkreise zurückzukehren, d. h. um seine Länge von 0^0 bis 360^0 zu ändern, den tropischen[1] Monat. Seine Dauer ändert sich nur wenig; im Mittel beträgt sie $27^d,3215813 = 27^d\,7^h\,43^m\,4^s,6$ nach mittlerer Sonnenzeit, dem Zeitmaße, dessen wir uns in Zukunft fast ausschließlich bedienen werden.

Warum fehlt die Mondbahn auf unserer Sternkarte, die doch die Sonnenbahn oder Ekliptik enthält? Antwort: Die Mondbahn läßt sich auf der Karte gar nicht anbringen, weil ihre Lage einem beständigen Wechsel unterworfen ist.

Dieser Lagenwechsel der Mondbahn ist nicht ganz leicht zu verstehen. Versuchen wir, uns ihn an einem seltsamen Bilde klar zu machen. In einem sehr großen Theater sind 360 Holzhürden im Kreise aufgestellt und in einer gegen den Uhrzeigerlauf gerichteten Reihenfolge mit den Nummern 1 bis 360 versehen. Ein Pferd hat über alle diese Blöcke zu laufen. Sie sind von verschiedener Höhe, aber ihre obern Kanten liegen in einer Ebene. Zwei Hürden, etwa Nr. 1 und 181, sind gerade so hoch wie die feste Cirkusrampe, die wir Ekliptik nennen wollen; 2 ist etwas höher als 1, 3 ist noch höher; die höchste Hürde trägt die Nr. 91. Zieht man von der Mitte des Ganzen, etwa vom Auge des Cirkusdirektors aus, eine Linie zur Kante von Nr. 91, so macht diese mit der Ebene der Rampe den Winkel von $5^0\,8'\,40''$, den wir vorhin als Winkel der Mondbahn mit der Ekliptik

[1] Von τρέπω. — Die Wortwurzel, die dem Namen des Mondes und Monats in den indogermanischen Sprachen zu Grunde liegt, bedeutet das Messen der Zeit, wozu man sich des Mondlaufes in verschiedener Weise bedient. — Warum wir hier nicht den siderischen Monat anführen, bedarf für den Kenner kaum einer Erläuterung. Es wird sich später, wenn von der Präcession geredet wird (Kap. 19), dazu Gelegenheit finden.

angegeben haben. Nr. 92 ist schon etwas niedriger; die folgenden Hürden haben fortschreitend geringere Höhen; 181 hat wieder die Rampenhöhe; 271 ist am niedrigsten; die Gesichtslinie nach 271 macht mit der Rampenebene den vorhin angegebenen Winkel, aber nach unten. Dann werden die Hürden von 272 durch 360 und 1 bis 91 wieder höher.

Das Riesenroß, welches uns ein Bild des Mondlaufs bieten soll, trabt nun in 27,32 Tagen ruhelos durch den ganzen Cirkus, und wir sehen es die einzelnen Hürden nehmen[1]. Das Pferd beschreibt eine um 5° 8′ 40″ gegen die Ekliptik geneigte Bahn. Ist die Vorrichtung so einfach, dann wird das Pferd auch alle 27,32 Tage durch den aufsteigenden Knoten gehen, d. h. aus der Tiefe kommend, durch die Rampenhöhe nach oben gelangen. Nun greift aber ein seltsamer Mechanismus ein. Er verändert ganz allmählich die Höhen der einzelnen Hürden und bewirkt, daß nach einiger Zeit nicht mehr 1 und 181 in Höhe der Rampe stehen, sondern 0 und 180; zugleich sind dann 90 und 270 die höchste und die tiefste Hürde. Dabei bleibt aber bestehen, daß die Hürdenkanten stets alle in einer um 5° 8′ 40″ gegen die Ekliptik geneigten Ebene liegen. Allmählich sind die Knoten bei 359 und 179, dann bei 358 und 178 angelangt; sie machen beständig eine rückläufige Bewegung. Für das Pferd haben diese fast unmerklichen Änderungen eine merkwürdige Wirkung. Es gebraucht, um vom aufsteigenden Knoten wieder zum aufsteigenden Knoten zu kommen, durchschnittlich eine geringere Zeit als 27,32 Tage, da ja der Knoten zurückgeht. Man bedenke dabei wohl, daß sich die Hürden nicht etwa weiterbewegen, sondern nur durch den Mechanismus allmählich gehoben bezw. gesenkt werden.

Die Ebene der Mondbahn ändert ihre Lage gegen die Ekliptik dergestalt, daß zwar der Neigungswinkel stets derselbe bleibt, die Knoten jedoch beständig umlaufen, und zwar gegen die Richtung des Mondumlaufes selbst, also für einen Beobachter in mittlern und höhern nördlichen Breiten mit dem Uhrzeiger. Darum ist der drakonitische Monat oder Drachenmond, d. h. die Zeit des Umlaufes von einem Knoten bis zurück zu demselben Knoten, etwas kürzer als der vorhin bestimmte tropische Monat. In der That ist der Drachenmond $27^d,2122192$ oder $27^d\ 5^h\ 5^m\ 35^s,7$ lang.

Man beachte, daß sich nach dem Knotenstande auch die Lage zum Äquator richtet. Fällt der aufsteigende Knoten mit dem Frühlingspunkte

[1] Das Bild ist sehr unvollkommen; wenn man aber die Hürden durch zusammenstoßende Holzblöcke ersetzen wollte, über die ein Mann liefe, so könnte man nicht so gut den Mechanismus ersinnen, der diese bei dem gleich zu besprechenden Knotenumlaufe stets in einer Ebene hielte. Nähme man vollends einen zusammenhangenden Ring, der sich dem Knotenumlaufe entsprechend drehte, so würde man, wie eine leichte Überlegung zeigt, den Unterschied der beiden Monate wieder verwischen.

zusammen, so kommt der Mond in noch viel höhere nördliche Deklination als die Sonne, da er in 90° Länge oder RA die Deklination 23° 27′ + 5° 8′ = 28° 35′ erreicht. Das Zusammenfallen des Drachenschwanzes mit dem Herbstpunkte bewirkt dann freilich auch, daß nachher bei 270° Länge oder RA die hohe südliche Deklination — 28° 35′ erreicht wird. Nahezu ist diese Lage in Fig. 38 dargestellt, wo der Bogenabstand ♈ N klein ist. Fällt dagegen der Drachenkopf mit dem Herbstpunkte und der Drachenschwanz mit dem Frühlingspunkte zusammen, so werden in 90° und 180° Länge nur die Deklinationen ± (23° 27′ — 5° 8′) = ± 18° 19′ erreicht. Von den Deklinationen hangen wieder die Tagebogen ab und die vom Monde erreichten Kulminationshöhen. Diese haben also noch einen viel größern Spielraum als die der Sonne; in Bonn z. B., wo $\varphi = +50° 44'$, ist die größtmögliche Kulminationshöhe 50° 44′ + 28° 35′ = 79° 19″, der kleinste mögliche 50° 44′ — 28° 35′ = 22° 9′. In den Zeiten, wo der Drachenkopf dem Frühlingspunkte nahe ist, bewegt sich die Kulminationshöhe zwischen diesen Extremen; ist er aber dem Herbstpunkte nahe, so sind die Extreme 50° 44′ ± 18° 19′, also 69° 3′ und 22° 25′.

Die Knoten laufen in etwas mehr als 18 Jahren einmal um; genauer ist die tropische Umlaufszeit der Knoten gleich 6798^d,336. Wer also 18 Jahre lang den Mond beobachtet, lernt dessen Bahn in allen Lagen kennen, erlebt den Durchgang des Mondes durch das ganze Himmelsgebiet, das sich 5° 8′ nördlich und südlich der Ekliptik ausdehnt.

Wir müssen bei dem Cirkusbilde noch einen Augenblick verweilen. Wir hatten den Direktor in der Mitte des von dem Pferde beschriebenen Kreises angebracht. Das ist nicht genau richtig. Das Pferd hat in Wahrheit eine Ellipse zu beschreiben, in deren einem Brennpunkte der Mann steht. Eine Hürde ist dem Manne am nächsten, etwa Nr. 30; dann ist Nr. 210 am entferntesten. Bei 30 ist das Perigäum[1], bei 210 das Apogäum[1] des Mondes. Mit gemeinsamem Namen nennt man diese beiden Punkte, die Enden der großen Achse unserer Ellipse, die Apsiden[2]. Das Pferd läuft im Perigäum, wo es dem Manne am nächsten ist, am schnellsten, im Apogäum am langsamsten, und dazwischen ändert es stetig seine Geschwindigkeit. Dann versteht sich, daß es in 27,32 Tagen vom Perigäum zum Perigäum zurückgelangen wird, vorausgesetzt jedoch, daß nicht inzwischen das Perigäum selbst seine Lage geändert hat. Und eine solche Änderung hat thatsächlich stattgefunden. Eine unsichtbare Vorrichtung verschiebt beständig die einzelnen Hürden, nicht in der Bahn selbst, sondern in der Richtung auf den Mann

---

[1] Von περί, bei; ἀπό, ab; γαῖα, die Erde.

[2] Von ἁψίς, Rundung; das Wort wird bekanntlich auch in der Baukunst angewandt.

zu oder von ihm weg; nach einiger Zeit ist das Perigäum nicht mehr bei 30, sondern bei 31, und das Apogäum bei 211; dann gelangen 32 und 212 in diese Lagen u. s. w. Das Pferd ist also noch nicht wieder beim Perigäum angelangt, wenn es einmal durch seine Bahn gelangt ist; es muß noch etwas zusetzen.

Die Apsiden des Mondes laufen beständig um, und zwar im Sinne der wachsenden Längen, also für einen europäischen Beobachter gegen den Zeiger, umgekehrt wie die Knoten. Dieser tropische Apsidenumlauf erfordert nur $3231^d,5$ oder knapp 9 Jahre. Und der anomalistische[1] Monat ist länger als der tropische, nämlich im Mittel gleich $27^d,5545505 = 27^d\ 13^h\ 18^m\ 33^s,2$. Während dieses Monats hat der Mond alle möglichen Abstände von der Erde, alle möglichen scheinbaren Größen und alle möglichen Geschwindigkeiten; er äußert auch, wie wir später sehen werden, alle möglichen fluterzeugenden Kräfte im Weltmeere.

Noch eine andere Art des Monats können wir mit Hilfe des mehrfach gebrauchten Bildes kennen lernen. Es laufe durch den Cirkus nicht nur in der vorhin beschriebenen Bahn das eine Pferd, Mond genannt, sondern noch ein größeres in einem viel weiter gezogenen Kreise — die Sonne. Ihr Umlauf vollzieht sich in demselben Sinne, nämlich in dem des Uhrzeigers für den europäischen Beobachter — den Mann im Cirkus. Aber sie braucht dazu eine viel längere Zeit, $365^d,2422012 = 365^d\ 5^h\ 48^m\ 46^s,19$. Wenn von dem Manne aus die beiden Pferde in derselben Richtung stehen, so sind sie in Konjunktion ☌; die entgegengesetzte Stellung, wo also der Mann zwischen den beiden steht, heißt Opposition ☍. Machen die Gesichtslinien nach Sonne und Mond einen rechten Winkel miteinander, so stehen die Himmelskörper in Quadratur □. Konjunktion und Opposition führen noch den gemeinsamen Namen der Syzygien[2].

Angenommen, der Mond stehe heute mittag 0^h in Konjunktion mit der Sonne; wann wird er zunächst wieder mit ihr in Konjunktion stehen? Offenbar noch nicht nach $27^d,32$; denn es hat dann zwar der Mond dieselbe Länge wieder, die er heute hat, aber die Sonne hat eine größere Länge, und er braucht noch einige Zeit, um sie einzuholen. Um die Zeit zu finden, bedenken wir, daß sich die Länge des Mondes täglich ungefähr um $\frac{360^0}{27,32}$ ändert, die der Sonne um $\frac{360^0}{365,24}$. Der erste Bruch ist der größere, und

---

[1] Anomalie ist der Winkel, den die Gesichtslinie zum Monde mit der Apsidenlinie macht; sie ist im Perigäum $= 0^0$, im Apogäum $= 180^0$. In einem anomalistischen Monate durchläuft der Mond alle Anomalien von 0^0 bis 360^0. — Auch bei der Sonne ändert sich die Apsidenlage; wir werden darauf im Kap. 19 zurückkommen.

[2] Von τὸ ζυγόν, das Joch, wird ἡ συζυγία, das Paar, abgeleitet.

wenn wir den kleinern von ihm abziehen, bekommen wir die tägliche Verschiebung des Mondes gegen die Sonne. Soll der Mond die Sonne wieder einholen, so muß eine Verschiebung des gegenseitigen Standes um 360° stattgefunden haben; und will man wissen, wieviel Tage dazu erfordert werden, so hat man die tägliche Verschiebung in 360 zu dividieren[1]. Es ist

$$\frac{360}{\frac{360}{27,3215813} - \frac{360}{365,2422012}} = 29,530588.$$

Das ist der synodische[2] Monat oder die Lunation[2]. Es sind $29^d,5305877 = 29^d\ 12^h\ 44^m\ 2^s,8$. Das ist natürlich nur der Mittelwert; da nämlich die Geschwindigkeiten des Mondes und der Sonne selbst veränderlich sind und außerdem die Längen nicht auf der Mondbahn, sondern auf der Ekliptik gezählt werden, ist die Größe der Lunation kleinen Schwankungen unterworfen. Insbesondere kann man sich durch einen Einblick in den Kalender leicht überzeugen, daß in der Zeit vom 1. Oktober bis zum 1. April die Lunationen im allgemeinen länger sind als in dem andern Halbjahr, und zwar wegen des schnellern Vorauseilens der Sonne. Die Konjunktion der beiden Himmelslichter steht im Kalender als Neumond vermerkt. Überhaupt werden die sogen. Mondviertel in einer nachher zu besprechenden einfachen Weise durch die Stellung des Mondes zur Sonne bestimmt.

* * *

Durch den tropischen, den drakonitischen, anomalistischen und synodischen Monat wird die Stellung des Nachtgestirns für den Beobachter nebst seiner scheinbaren Größe und Gestalt in so wechselvoller Weise bestimmt, daß sich für viele Jahre kaum eine vollständige Wiederholung der Phänomene findet. Indessen haben doch schon die alten Chaldäer einen Cyklus, die sogen. chaldäische Periode oder den Saros, gefunden, der mit ziemlicher Genauigkeit fast alle jene Perioden umfaßt. Es sind nämlich[3]

$27^d,3216 \times 241 = 6584^d,5056$ . . . . (tr)
$27^d,2122 \times 242 = 6585^d,3524$ . . . . (dr)
$27^d,5546 \times 239 = 6585^d,5494$ . . . . (an)
$29^d,5306 \times 223 = 6585^d,3238$ . . . . (sn)
$365^d,2422 \times 18 = 6574^d,3596$ . . . . (A).

---

[1] Vgl. die eingekleideten Bewegungsgleichungen ersten Grades in den Aufgabensammlungen von Heis, Bardey und Meyer Hirsch.

[2] Von ἡ σύνοδος = coniunctio, Zusammenkunft, und luna, der Mond.

[3] Die 3. und 4. Dezimale sind hier freilich nicht mehr zu verbürgen, was man auch für die folgende Seite beachten möge.

Fassen wir zunächst die Gleichungen (dr), (an) und (sn) ins Auge, so ergiebt sich, daß, bis auf verhältnismäßig kleine Bruchteile des Tages, 242 Drachenmonde gleich 239 anomalistischen und gleich 223 synodischen Monaten gesetzt werden können. Das ist für die Vorhersage der Himmelserscheinungen von großer Wichtigkeit. So ist z. B., wie wir später (Kap. 21) sehen werden, für das Zustandekommen einer Sonnenfinsternis notwendig, daß der Mond mit der Sonne in Konjunktion und gleichzeitig einem Knoten sehr nahe stehe. Nehmen wir an, das habe heute stattgefunden. Dann haben wir nach 223 Lunationen zunächst wieder eine Konjunktion. Es sind ferner gerade 242 Drachenmonde abgelaufen, also scheint es, daß der Mond wieder bei demselben Knoten stehen muß. Man könnte jedoch einwenden, der Mond bewege sich mit wechselnder Geschwindigkeit, und da sei es fraglich, ob er wirklich genau wieder den Knoten erreicht habe oder nicht vielmehr etwas vorgelaufen oder zurückgeblieben sei; die Länge des Drachenmonats ist ja, gleich der des tropischen, nur ein Mittelwert aus vielen etwas ungleichen Einzelwerten. Aber auch für ein pünktliches Eintreffen ist gesorgt. Denn nach Ablauf eines anomalistischen Monats hat der Mond alle möglichen Geschwindigkeiten gehabt, oder er steht nun so, als habe er sich beständig mit der mittlern Geschwindigkeit bewegt. Und ebenso nach 239 vollen anomalistischen Umläufen, die ja, wie die Gleichungen zeigen, ziemlich genau den 223 Lunationen gleichkommen. — Dagegen zeigt die Gleichung (tr), daß die Konjunktion nicht mehr an derselben Stelle des Himmels stattfinden wird. Denn der Wert in (tr) ist um $0^d{,}8182$, etwa $^9/_{11}$ Tage, kleiner als der in (sn). Der Mond hat also noch keine 241 tropischen Umläufe gemacht, es fehlen daran noch $^9/_{11}$ des Weges, den er in einem Tage macht, also $\frac{9 \cdot 360^0}{11 \cdot 27{,}3216} = \frac{9}{11} \cdot 13^0\,10'\,35'' = 10^0\,46'\,50''{,}5$; um so viel ist der Mond bei der neuen Konjunktion in Länge vorausgeeilt gegen die vor 18 Jahren beobachtete Konjunktion. Und so auch die Sonne, die, wie die Gleichung (A) zeigt, bereits nach $6574^d{,}3596$ an der alten Stelle wieder angelangt war; in den knapp elf Tagen, die sie noch bis zur Konjunktion zu gute hat, läuft sie dieselben $10^0\,46'\,50''{,}5$ ab.

Ganz genau gilt die Beziehung natürlich nicht, weil sich eben die Perioden (tr), (dr) und (an) doch noch etwas unterscheiden. Sie kann aber mit guter Annäherung zur Vorhersage benutzt werden.

* * *

Die Scheibengestalt des Mondes legt uns die Vermutung nahe, daß er in Wahrheit eine Kugel ist. Das wird zur vollen Gewißheit, wenn wir auf seine Lichtgestalten achten. Kurz nach dem wahren Neumonde oder der Konjunktion mit der Sonne, etwa nach 2 bis 3 Tagen, sehen wir den Mond als sehr schmale Sichel der untergehenden Sonne folgen. Um diese

Gestalt künstlich wiederzugeben, hat man nur nötig, eine Kugel[1] zur Hälfte weiß und zur andern Hälfte schwarz zu färben. Wird diese Kugel aus größerer Entfernung beachtet, und zwar zuerst so, daß uns die schwarze Seite zugewandt ist, dann mit langsamer Drehung im Sinne des Uhrzeigers, so erscheint bald an der rechten Seite die Sichel in der wohlbekannten Gestalt. Nach einiger Zeit ist sie größer geworden, und bald sehen wir die Hälfte der weißen und die Hälfte der schwarzen Seite auf einmal. Der trennende Hauptkreis, den wir vorhin nahezu in seiner wahren Gestalt sahen, erscheint nun einfach als Durchmesser der Scheibe. Diese Gestalt hat der Mond bei seiner ersten Quadratur oder im ersten Viertel, wenn nämlich seine Länge um 90^0 größer ist als die der Sonne, im Durchschnitt $\frac{1}{4} \cdot 29^d,530588 = 7^d,382647 = 7^d\ 9^h\ 11^m\ 0^s,7$ nach dem Neumonde. Wieder nach einem solchen Zeitabschnitte, in der Opposition, wenn des Mondes Länge 180^0 größer als die der Sonne ist, haben wir Vollmond. Dann schiebt sich die schwarze Seite von rechts her vor unser Auge, nach $\frac{3}{4} \cdot 29^d,53$ haben wir die zweite Quadratur oder das letzte Viertel mit dem Längenunterschiede von 270^0, und nach der vollen Lunation wieder Neumond.

Um eine Kugel genau zur Hälfte zu beleuchten, muß die Lichtquelle in großer Entfernung stehen; für eine punktförmige Lichtquelle müßte die Entfernung sogar unendlich groß werden. Wir sehen nun das erleuchtete Mondgebiet immer der Sonne zugewandt, und aus der Summe der Erscheinungen dürfen wir schließen, daß der Mond eine Kugel ist, die ihr Licht von der Sonne erhält. Das Fernrohr bestätigt diese Vermutung; es zeigt, daß die Mondoberfläche gewisse helle Gebilde besitzt, die Schatten werfen; es zeigt, daß diese Schatten am längsten sind in den Gebieten, für welche die Sonne im Horizonte steht, und daß sie nach den der Sonne zugewandten Gegenden, die das Tagesgestirn im Zenith haben, immer kleiner werden, um zuletzt zu verschwinden. Auch das Spektroskop[2] bestätigt, daß das Licht des Mondes erborgtes Sonnenlicht ist.

Die schattenwerfenden Gebilde auf dem Monde sind, wie man eben aus der Länge der Schatten selbst erschließen kann, hoch genug, um als Berge im irdischen Sinne gelten zu können. Damit steht die Mondkugel als ein kleineres Seitenstück zur Erdkugel vor uns: gleich ihr wird sie von der Sonne beleuchtet, sie hat eine Tagesseite und eine Nachtseite, und ihr Antlitz wird von Bergmassen gerunzelt wie das der Erde. Ein Unterschied

---

[1] Z. B. einen Gummiball, der ja gewöhnlich schon einen Hauptkreis angedeutet enthält. — Das Bild wird am treuesten, wenn man aus weiterem Abstande beobachtet und sich dabei des Feldstechers bedient.

[2] Vgl. Kap. 22.

drängt sich freilich sofort auf. Die Schatten der Mondgebirge sind von ganz *auffallender Schärfe*, wie uns zunächst Fig. 39 zeigen möge. Namentlich an der Grenze von Tag und Nacht findet ein greller Übergang statt. Die erleuchteten Bergspitzen ragen aus dem tiefsten Dunkel auf. Schon ein kleineres Fernrohr zeigt das an der Mondsichel sehr hübsch. Von einer durchstrahlten Atmosphäre, von Morgen- und Abenddämmerung ist so wenig zu reden wie von allgemeinem Tageslichte. Die Mondkugel entbehrt einer Atmosphäre, die der irdischen verglichen werden könnte. Noch eine andere Beobachtung zeigt das. In seinem schnellen Laufe an der Sphäre bedeckt der Mond häufig einzelne Fixsterne, d. h. er schiebt sich für unser Auge vor diesen vorbei. Wäre die Mondkugel von einer durchstrahlten Atmosphäre umgeben, so müßte, wenn der Vollmond einen Fixstern bedeckt, das Sternenlicht in jener Atmosphäre gebrochen werden. Thatsächlich wird eine solche Brechung, die doch bei dem schrägen Lichteinfall[1] sehr groß sein müßte, nicht beobachtet. Wir dürfen also dem Monde keine der irdischen ähnliche Atmosphäre zuschreiben, und dieselbe Erwägung spricht auch gegen das Vorhandensein von Flüssigkeiten, z. B. Wasser, auf seiner Oberfläche. Wasser müßte verdunsten und Wolken bilden, der Dampf müßte auch wieder lichtbrechend wirken und die Nebelbläschen lichtzerstreuend. Damit wird denn auch die Existenz lebender Wesen von irdischer Einrichtung unmöglich.

Ist der Mond kugelförmig, so muß er uns aus weitem Abstande ungefähr in *orthographischer Projektion* erscheinen. Man erhält diese Projektion, wenn man durch alle Punkte des darzustellenden Gegenstandes Linien zieht, die einer festen Richtung parallel sind, oder wenn man, anders ausgedrückt, den Augenpunkt in unendliche Entfernung rückt und nun alle jene Linien durch eine zu ihnen senkrechte Ebene schneidet. Sofort ergiebt sich, daß nur die mittelsten Teile der Scheibe in natürlicher Gestalt erscheinen werden; nach dem Rande der sichtbaren Scheibe zu werden sie alle in radialem Sinne verkürzt, während sie in tangentialem Sinne unverändert bleiben. Durch eine solche Verkürzung erscheint z. B. ein Kreis als Ellipse. Um sich davon zu überzeugen, wird man eine große Kugel, z. B. einen Kegelball nehmen, der von einem Gehilfen in weitem Abstande zu halten und von uns am besten mit dem Feldstecher zu beobachten ist. Der Gehilfe verschiebt auf der Kugel einen Ring von mäßiger Größe, z. B. einen Gardinenring, und wir sehen diesen in der Mitte als Kreis, am Rande der Scheibe als Ellipse. Der Mond ist mit zahlreichen ringähnlichen Gebilden übersät, die sich genau diesem Versuche entsprechend verhalten. Seine Kugelform wird dadurch bestätigt.

---

[1] Es würde sich ja um Horizontalrefraktion handeln, die, wie man den Ausführungen des Kap. 10 entnehmen wird, einen hohen Betrag hat.

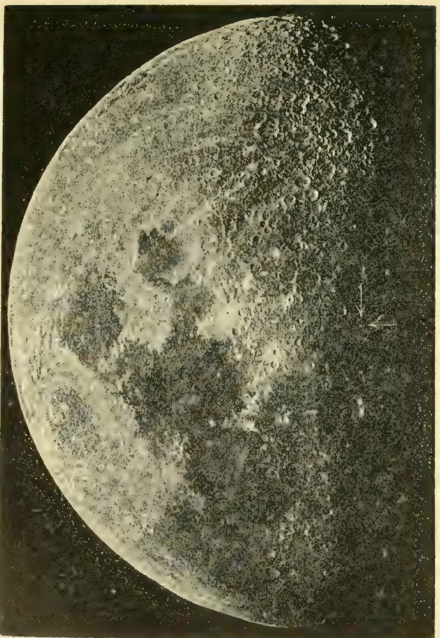
Da wir nun den Durchmesser des Mondes (vgl. S. 103) zu 0,2726 des Äquatordurchmessers der Erde bestimmt haben, so ergiebt sich nach bekannten geometrischen Sätzen seine Oberfläche als 0,0743 oder etwa $^2/_{27}$ der Erdoberfläche und sein Rauminhalt als 0,020 oder der fünfzigste Teil vom Volumen der Erdkugel. Das große Zifferblatt mit dem kleinen Sekundenzifferblatte der gewöhnlichen Taschenuhr kommt dem Verhältnisse der Radien und dem der Oberflächen ziemlich nahe. Es wird uns durchaus wahrscheinlich, daß die kleine Mondkugel um die große Erdkugel läuft, und diese Annahme ist in der That wohl niemals ernstlich bestritten worden. Ob nun der tägliche Himmelslauf, den ja der Mond auch mitmacht, wirklich stattfindet oder uns nur durch eine Achsendrehung der Erde vorgespiegelt wird — sein monatlicher Lauf um die Erde in $27^d,32$ ist als Thatsache anzunehmen. Betrachten wir die etwas excentrische Bahn der Einfachheit wegen als Kreisbahn mit dem Radius von 38 442 myriom, so zeigt eine leichte logarithmische Rechnung, daß er im Durchschnitte in jeder Sekunde etwa ein Kilometer (0,102 myriom) auf dieser Bahn zurücklegt. Das ist eine Schnelligkeit, der die neuere Geschütztechnik bereits nahe gekommen ist. Wir werden freilich im Weltall noch ganz andere Geschwindigkeiten kennen lernen.

Da die Sonne sehr viel weiter ist als der Mond, so würde sie auch für einen etwaigen Mondbewohner im ganzen den uns wohlbekannten Jahreslauf durch die Ekliptik zu machen scheinen. Und da Mond und Erde ihre erleuchteten Seiten immer der weit entfernten Sonne zugewendet haben, so würde, wie eine leichte Überlegung oder auch der Versuch mit zwei je zur Hälfte geschwärzten Kugeln zeigt, der Mondbewohner immer dieselbe Lichtgestalt oder *Phase* an der Erde sehen, die wir einen halben Monat vorher gesehen haben. Haben wir Neumond, so hat der Selenit[1] Vollerde, haben wir das erste Viertel, so hat er das letzte u. s. w. Die Vollerde erleuchtet den Mond sehr hell, da sie, wie man leicht einsieht, ihm 13mal größer erscheint als uns der Vollmond. Darum sieht man noch einige Tage nach Neumond neben der Sichel auch die dunkle Seite sehr deutlich gegen den Himmel abgezeichnet; bei oberflächlicher Betrachtung, die schon durch ein kleines Fernrohr berichtigt wird, scheint sie einer kleinern Kugel anzugehören als die Sichel — eine Folge der Irradiation oder der zu starken Netzhautreizung durch helles Licht. — Die Erklärung jenes *aschgrauen Mondlichts* (lumière cendrée) durch rückgestrahltes Erdlicht hat zuerst der große Künstler *Leonardo da Vinci* gegeben.

Addiert man zur Länge der Sonne 0°, 90°, 180°, 270°, so erhält man der Reihe nach die Längen des Neumondes, des ersten Viertels, des

[1] Von σελήνη, Mond, wird σεληνίτης, Mondbürger, abgeleitet, wie πολίτης und ähnliche Wörter.

Zunehmender Mond.



Abnehmender Mond.

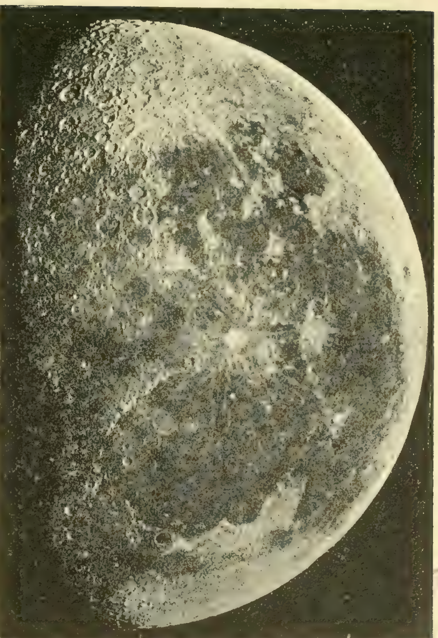


Fig. 39. **Der Mond im Fernrohr** (umgekehrt).

Die Pfeile bezeichnen den Fundamental-Krater „Möfting A".

Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 113.

Vollmondes und des letzten Viertels. Von den Rektascensionen gilt ungefähr dasselbe, und daraus findet man leicht die ungefähren Zeiten des Aufganges, höchsten und tiefsten Standes und Unterganges der einzelnen Mondphasen in mittlern und niedern geographischen Breiten.

	Aufgang.	Obere Kulmination.	Untergang.	Untere Kulmination.
Neumond	Morgen	Mittag	Abend	Mitternacht
Erstes Viertel	Mittag	Abend	Mitternacht	Morgen
Vollmond	Abend	Mitternacht	Morgen	Mittag
Letztes Viertel	Mitternacht	Morgen	Mittag	Abend

Zugleich ergiebt sich, wenn man bedenkt, daß sich der Mond ungefähr in der Ekliptik bewegt, die Stellung der beleuchteten Sichel zum Horizont durch Betrachtung des Himmelsglobus. Um ein Beispiel zu geben, fragen wir, welche Stellung die junge Mondsichel abends im Februar einnimmt. Der Teil der Ekliptik, wo die Sonne steht, etwa bei 320°, ist untergegangen und steht merklich weiter nach Süden als der Frühlingspunkt, der vielleicht jetzt untergeht und sich dann gerade durch den Westpunkt bewegen muß. Noch weiter nördlich steht die Mondsichel, da ihre Länge über 0° beträgt. Es ergiebt sich in mittlern Breiten eine sehr steile Stellung der Ekliptik zum Horizonte, d. h. eine fast horizontale Stellung der Sichel: „der Mond liegt auf dem Rücken." Dagegen steht die junge Mondsichel im August oder September nahezu senkrecht zum Horizonte. Die Bewegung der Mondknoten ändert das alles in mannigfacher Weise ab.

Die tägliche Bewegung des Mondes wird durch seinen Monatslauf sehr verwickelt. Zunächst ist es klar, daß er eine viel längere Zeit über und eine viel längere unter dem Horizonte verweilt, als nach seiner Deklination zu erwarten wäre, und zwar, weil seine RA in beständigem Wachstum begriffen ist. Der Mond macht durchschnittlich in $27^d,32$ die tägliche Bewegung einmal weniger als die Fixsterne, in $29^d,53$ einmal weniger als die Sonne. Aufgang, Kulmination und Untergang des Mondes verzögern sich beständig, aber nicht in gleicher Weise. Das möge man aus der S. 116 abgedruckten Tafel ersehen, die die tägliche Bewegung der Sonne und des Mondes angiebt, wie solche im Mai 1896 in W a r e n d o r f ($\varphi = + 51° 57'$; $0^h 32^m$ östl. v. Gr.) beobachtet wurde. Es ist alles auf M. E. Z. umgerechnet, was auch die Mittagszahlen erklärt, da die Zeitgleichung negativ war[1]. Man bemerkt nun, daß sich die Mondkulminationen noch am regelmäßigsten, durchschnittlich um $0^h 52^m$ des Tages,

[1] M. E. Z. — M. Z. Greenw. = $1^h 0^m$; also M. E. Z. — M. Z. Warendorf = $0^h 28^m$. — Der Einfachheit wegen haben wir die bürgerliche Stundenzählung festgehalten und die Nachtstunden von 6 Uhr 0 Min. abends bis 5 Uhr 59 Min. morgens durch Fettdruck hervorgehoben.

 8*

Mai.	Sonnenlauf. Aufgang.	Sonnenlauf. Wahrer Mittag.	Sonnenlauf. Untergang.	Mondeslauf. Aufgang.	Mondeslauf. Höchster Stand.	Mondeslauf. Untergang.	Lichtwechsel.
1. Fr.	5 Uhr 0 Min.	12 Uhr 24 Min. 55 Sek.	7 Uhr 51 Min.	0 Uhr 32 Min.	3 Uhr 45 Min.	6 Uhr 58 Min.	
2. Sa.	4 „ 58 „	12 „ 24 „ 48 „	7 „ 53 „	1 „ 20 „	4 „ 44 „	8 „ 12 „	
3. So.	4 Uhr 56 Min.	12 Uhr 24 Min. 41 Sek.	7 Uhr 55 Min.	1 Uhr 53 Min.	5 Uhr 38 Min.	9 Uhr 30 Min.	Letztes Viertel
4. Mo.	4 „ 54 „	12 „ 24 „ 36 „	7 „ 56 „	2 „ 16 „	6 „ 27 „	10 „ 48 „	den 4.
5. Di.	4 „ 52 „	12 „ 24 „ 30 „	7 „ 58 „	2 „ 31 „	7 „ 12 „	12 „ 4 „	4 Uhr 25 Min.
6. Mi.	4 „ 50 „	12 „ 24 „ 26 „	8 „ 0 „	2 „ 44 „	7 „ 54 „	1 „ 17 „	
7. Do.	4 „ 48 „	12 „ 24 „ 22 „	8 „ 1 „	2 „ 54 „	8 „ 34 „	2 „ 27 „	
8. Fr.	4 „ 47 „	12 „ 24 „ 18 „	8 „ 3 „	3 „ 4 „	9 „ 13 „	3 „ 37 „	
9. Sa.	4 „ 45 „	12 „ 24 „ 15 „	8 „ 4 „	3 „ 14 „	9 „ 52 „	4 „ 47 „	
10. So.	4 Uhr 43 Min.	12 Uhr 24 Min. 13 Sek.	8 Uhr 6 Min.	3 Uhr 24 Min.	10 Uhr 33 Min.	5 Uhr 59 Min.	
11. Mo.	4 „ 42 „	12 „ 24 „ 11 „	8 „ 8 „	3 „ 37 „	11 „ 15 „	7 „ 12 „	Neumond
12. Di.	4 „ 40 „	12 „ 24 „ 10 „	8 „ 9 „	3 „ 53 „	12 „ 2 „	8 „ 28 „	den 12.
13. Mi.	4 „ 38 „	12 „ 24 „ 10 „	8 „ 11 „	4 „ 15 „	12 „ 51 „	9 „ 43 „	8 Uhr 47 Min.
14. Do.	4 „ 37 „	12 „ 24 „ 10 „	8 „ 12 „	4 „ 46 „	1 „ 44 „	10 „ 50 „	
15. Fr.	4 „ 35 „	12 „ 24 „ 10 „	8 „ 14 „	5 „ 31 „	2 „ 40 „	11 „ 45 „	
16. Sa.	4 „ 34 „	12 „ 24 „ 12 „	8 „ 15 „	6 „ 31 „	3 „ 36 „	— „ — „	
17. So.	4 Uhr 32 Min.	12 Uhr 24 Min. 13 Sek.	8 Uhr 17 Min.	7 Uhr 44 Min.	4 Uhr 31 Min.	0 Uhr 28 Min.	
18. Mo.	4 „ 31 „	12 „ 24 „ 16 „	8 „ 18 „	9 „ 5 „	5 „ 24 „	0 „ 58 „	
19. Di.	4 „ 30 „	12 „ 24 „ 18 „	8 „ 20 „	10 „ 31 „	6 „ 15 „	1 „ 19 „	Erstes Viertel
20. Mi.	4 „ 28 „	12 „ 24 „ 22 „	8 „ 21 „	11 „ 56 „	7 „ 5 „	1 „ 36 „	den 20.
21. Do.	4 „ 27 „	12 „ 24 „ 26 „	8 „ 22 „	1 „ 21 „	7 „ 53 „	1 „ 50 „	7 Uhr 21 Min.
22. Fr.	4 „ 26 „	12 „ 24 „ 30 „	8 „ 23 „	2 „ 49 „	8 „ 42 „	2 „ 3 „	
23. Sa.	4 „ 25 „	12 „ 24 „ 35 „	8 „ 25 „	4 „ 17 „	9 „ 32 „	2 „ 16 „	
24. So.	4 Uhr 24 Min.	12 Uhr 24 Min. 40 Sek.	8 Uhr 26 Min.	5 Uhr 49 Min.	10 Uhr 26 Min.	2 Uhr 30 Min.	
25. Mo.	4 „ 23 „	12 „ 24 „ 46 „	8 „ 27 „	7 „ 22 „	11 „ 23 „	2 „ 48 „	Vollmond
26. Di.	4 „ 22 „	12 „ 24 „ 52 „	8 „ 29 „	8 „ 53 „	— „ — „	3 „ 13 „	den 26.
27. Mi.	4 „ 21 „	12 „ 24 „ 59 „	8 „ 30 „	10 „ 11 „	0 „ 25 „	3 „ 49 „	10 Uhr 57 Min.
28. Do.	4 „ 20 „	12 „ 25 „ 6 „	8 „ 31 „	11 „ 10 „	1 „ 27 „	4 „ 40 „	
29. Fr.	4 „ 19 „	12 „ 25 „ 14 „	8 „ 33 „	11 „ 50 „	2 „ 28 „	5 „ 49 „	
30. Sa.	4 „ 18 „	12 „ 25 „ 22 „	8 „ 34 „	— „ — „	3 „ 26 „	7 „ 7 „	
31. So.	4 Uhr 17 Min.	12 Uhr 25 Min. 31 Sek.	8 Uhr 35 Min.	0 Uhr 17 Min.	4 Uhr 18 Min.	8 Uhr 28 Min.	

verspätet haben. Die kleine Schwankung beruht auf der anomalistischen Bewegung und der Neigung der Mondbahn gegen den Äquator, hat also denselben Grund, aber in verschärfter Weise, wie die Ungleichheit der wahren Sonnentage. Nun bemerkt man weiter, daß in der Zeit vom 4. bis zum 12. sich die Aufgänge nur sehr wenig verspäten. Um diese Zeit ist nämlich die Deklination des Mondes, also auch sein Tagesbogen, stark am Wachsen; denn am 12. steht der Mond in der hohen nördlichen Deklination der Maisonne (da er mit ihr in Konjunktion ist, wie die letzte Spalte zeigt). Bis dahin hat also die Decl wachsen müssen. Die Untergänge verspäten sich in diesen Tagen aus demselben Grunde erheblich stärker als um 52^m, da zu dem RA-Zuwachse die Vergrößerung des Tagesbogens tritt. Nach dem 15., wo die Abnahme der Decl bemerkbar wird, kehrt sich die Sache um: die Aufgänge verspäten sich sehr, die Untergänge wenig, die Tagebogen sind kurz. — Die Berechnung dieser Zahlen ist umständlicher als bei der Sonne. Hat man den Lauf des Mondes in seiner Bahn vorausberechnet und dann für jeden Mittag seine RA und Decl mit Hilfe der sphärischen Umrechnungsformeln ermittelt, so muß man die Auf- und Untergangszeiten provisorisch aus der Decl ableiten, für diese Zeiten die Änderungen der Decl und RA feststellen und daraus für die Zeiten eine zweite Näherung finden, die oft nicht einmal hinreicht und einer dritten Platz machen muß. Neben der Refraktion, die den Tagebogen verlängert, muß dann auch noch die verkürzende Horizontalparallaxe angebracht werden.

* * *

Da die Mondkugel in mehreren Beziehungen ein Seitenstück zur Erdkugel darstellt, wäre es vielleicht möglich, der Antwort auf die Frage, ob sich die Erde um ihre Achse dreht, dadurch näher zu kommen, daß man dieselbe Frage zunächst für den Mond zu beantworten sucht. Hierzu bedarf es aber zunächst einer genauen Fassung des Begriffes der Rotation oder Achsendrehung für eine bewegte Kugel. Wir verbinden das Centrum der Kugel mit einem festen Punkte auf ihrer Oberfläche und denken uns die Verbindungslinie beliebig weit nach auswärts verlängert. Bleibt dann diese Linie während der Bewegung des Körpers beständig einer bestimmten Richtung im Raume, z. B. der Richtung auf einen Fixstern [1], parallel, so hat der Körper keine Rotation. Andernfalls ziehen wir durch einen Punkt der Linie im Raume, mit der jener Radius zuerst zusammenfiel, eine Parallele zu seiner zweiten Lage; sie bildet mit der ersten Lage einen Winkel, und wir sagen, daß sich der Körper um diesen Winkel gedreht hat. Die Drehung ist ausgeführt worden um eine Achse, nämlich um den Durchmesser der

[1] Der Fixstern wird als unendlich ferner Punkt behandelt. Vgl. S. 14.

Kugel, der zu der Ebene des Drehungswinkels senkrecht ist. Die Mechanik lehrt, daß die einmal begonnene Rotation eines regelmäßig gebauten Körpers um eine natürliche Drehungsachse, z. B. einer homogenen Kugel um einen Durchmesser, ohne Ende mit derselben Geschwindigkeit weiter geht, wenn nicht eine fremde Kraft, z. B. Anziehung, Stoß oder Reibung, oder Massenwanderung auf dem Körper die Geschwindigkeit oder die Achsenlage oder beides ändert. Auf der Trägheit der Achsenlage beruht der Faßreifen als Spielzeug, der Kreisel, auch die Bewegung eines Geschosses aus gezogenem Gewehre.

Kehren wir nun noch einmal zu dem Cirkusbilde zurück. Eine Linie, die man von der Stirn des Pferdes über dessen Rücken zieht, muß sich während des Umlaufes beständig drehen; sie weist auf immer andere weit entfernte Punkte, und einem entfernten Zuschauer wendet das Roß während eines vollen Umlaufes alle Seiten seines Körpers zu. Es dreht sich in derselben Zeit um seine Achse, in der es auch den Kreis vollendet. Der Mann, der es regiert, sieht diese Rotation nicht; ihm zeigt das Pferd, wenn es gegen den Uhrzeiger läuft, beständig die linke Seite.

Ebenso oder fast ebenso ist es mit dem Monde bestellt. Seine Achsendrehungszeit ist gleich $27^d,32$, also identisch mit der Zeit seines Umlaufes um die Erde[1]. Darum wendet er dem Erdbewohner immer dieselbe Seite zu, während ein außerirdischer, etwa auf der Sonne stehender Beobachter nach und nach die ganze Oberfläche zu Gesicht bekommen würde.

Indessen treten doch auch für den irdischen Beobachter kleine Änderungen auf, weil der Umlauf mit veränderlicher, die Achsendrehung aber mit konstanter Geschwindigkeit ausgeführt wird. Unsere Fig. 40 stellt die elliptische Mondbahn mit starker Übertreibung ihrer Excentricität vor. Ist T die Erde, so hat der Mond im Perigäum I die größte, im Apogäum IV die geringste Umlaufsgeschwindigkeit. Umlauf und Rotation geschehen in demselben Sinne, für den europäischen Beobachter gegen den Zeiger. Bei II, III und V hat die Geschwindigkeit mittlere Werte. In I sei der Mondkrater[2] m der Erde genau zugewandt; er bildet dann das Centrum der sichtbaren Scheibe. Ist der Mond mit seiner großen Umlaufsgeschwindigkeit in II angelangt, so hat die Rotation, die stets den Mittelwert[3] hat, nicht folgen können, so daß

[1] Streng genommen gleich dem siderischen und nicht gleich dem tropischen Monate, der übrigens auch noch in höhern Decimalen mit jenem übereinstimmt. Das 19. Kapitel über die Präcession wird den Sachverhalt vollständig erklären.

[2] Diese Bezeichnung für die später (Kap. 25) zu besprechenden kleinen, runden Gebilde auf dem Monde nehmen wir hier der Kürze halber vorweg.

[3] Tägliche Drehung $\frac{360^\circ}{27,32} = 13^\circ\, 11'$.

der Krater m noch zurück ist und ein anderer das Centrum der sichtbaren Scheibe bildet. Nun aber nimmt die Umlaufsgeschwindigkeit wieder ab, und in IV, wo sie ihr Minimum erreicht hat, ist ihr die schnellere Rotation wieder beigekommen: m steht in der Mitte der Scheibe. Die jetzt noch immer zu kleine Umlaufsgeschwindigkeit giebt der Rotation einen weitern Vorsprung, der einen andern Krater in die Mitte rückt, bis die zunehmende Schnelligkeit des Laufes wieder den Krater m nach vorn schiebt und das Spiel von neuem beginnen kann. Die Winkel mET und mOT sind im Maximum jeder 7° 35′ groß, so daß die gesamte Schwankung, die Libration[1] in Länge, 15° 10′ ausmacht. Ihre Periode ist der anomalistische Monat.

Es kommt hinzu, daß die Rotationsachse des Mondes auf seiner Bahnebene nicht senkrecht steht. Sie macht mit der Achse der Ekliptik einen

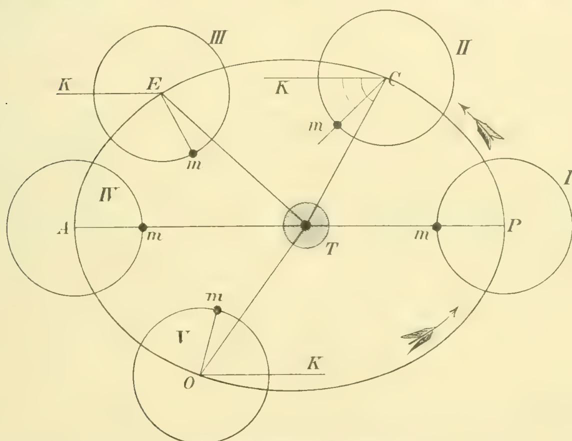


Fig. 40. Längenlibration des Mondes.

Winkel von 1° 29′ und bleibt bei allen Umläufen des Mondes immer sich selbst parallel, zeigt also immer auf denselben Firstern. Daraus folgt bei der wechselvollen Lage der Mondbahn zur Ekliptik und zum Äquator eine zweite Schwankung, die Libration in Breite, infolge deren uns bald der Nordpol bald der Südpol der Rotationsachse des Mondes zugewandt ist, und zwar in verschiedenen Neigungen. Das Maximum dieser Libration beträgt 2 × 6° 47′ = 13° 34′.

Endlich zeigt uns Fig. 41, daß, wenn vom Mittelpunkt T der Erde aus der Krater m im Mittelpunkte der Mondscheibe erscheinen würde, dieses

[1] Librare, wägen.

keineswegs auch für die Orte der Erdoberfläche gilt. Hat B den Mond im Zenith, so sieht er freilich dieselbe[1] Scheibe COD. Ist er dagegen auf der Linie AL, so sieht er m die Mitte einnehmen anstatt o; E und K begrenzen nun die Scheibe. Diese optische, parallaktische oder tägliche Libration ist offenbar einfach gleich der Höhenparallaxe, erreicht also im Horizonte ihre Maxima ± 57′, so daß ihr Gesamtwert 1° 54′ beträgt. — Die Erklärung der drei Librationen rührt von Galilei her. Sie bewirken, daß wir im ganzen nach und nach 0,57 oder 4/7 der Mondoberfläche zu sehen bekommen, während die übrigen 3/7 unserem Anblicke für immer entzogen sind. Warren de la Rue hat die Thatsache der Libration in sinnreicher Weise zur Anfertigung von stereoskopischen Mondphotographien benutzt, die die Kugelgestalt greifbar vor Augen führen. — In „mittlerer Libration", wenn man nämlich senkrecht zur Achse des im Perigäum stehenden Mondes sieht, bildet nahezu der Krater Mösting A (Fig. 39, S. 113) das Centrum der Scheibe; ebenso auf den Mondkarten unserer Atlanten.

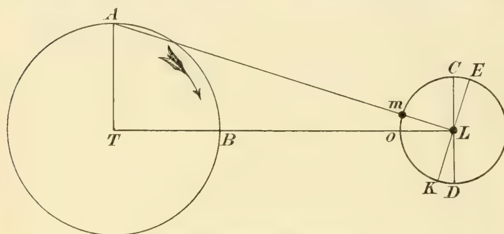


Fig. 41. Tägliche Libration.

Dreizehntes Kapitel.

Die Zeitrechnung.

Aus den Thatsachen, die wir bis jetzt über den Mond mitgeteilt haben, ist zu ersehen, daß ein Weltkörper, der zwar viel kleiner ist als die Erde, an Größe aber neben ihr doch nicht zu verschwinden braucht, eine sehr verwickelte Bewegung um sie ausführt. Die Achsendrehung mit konstanter Geschwindigkeit um eine beständig auf denselben unendlich fernen Punkt weisende Achse hebt sich scharf ab von der äußerst wechselvollen Umlaufsbewegung, die wir nur in den Hauptzügen beschreiben konnten. Es läge nahe, jetzt auf die Oberflächenbeschaffenheit des Mondes einzugehen; wir müssen das aber einem spätern (dem 25.) Kapitel vorbehalten, wo dann auf die bisherigen Ergebnisse zurückverwiesen werden soll. Dort sollen auch die höchst merkwürdigen Wirkungen, die der Mond hienieden äußert, besprochen werden. Für jetzt haben wir uns noch mit der Zeitmessung im großen zu beschäftigen, die auf dem tropischen Jahr und dem synodischen Monat beruht.

Das tropische Jahr ist 365ᵈ,2422 lang. Indem der jährliche Sonnenlauf den Gang der Wettererscheinungen, des pflanzlichen und tierischen und auch des mensch-

[1] Streng genommen eine etwas kleinere, scheinbar mit größerem Durchmesser.

lichen Lebens regelt, bietet er sich von selbst als höhere Zeiteinheit dar, deren Unterabteilungen dadurch gegeben zu sein scheinen, daß die Zahl der Tage eines Jahres der Zahl 360 nahe liegt, die durch sehr viele Teiler (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 30, 36, 72, 90, 120, 180, 360) ausgezeichnet ist. Offenbar beruht die alte Einteilung des Kreises in 360° gleichfalls darauf; die Sonne macht täglich etwa einen Schritt (gradus) auf der Ekliptik.

Andererseits bietet sich vorzüglich in solchen Gebieten, wo der Himmel meistens klar ist, der Lichtwechsel des Mondes als ein sehr bequemes, allgemein sichtbares Signal dar. Man mußte bald darauf kommen, den scheinbaren[1] Neumond, d. h. das erste Sichtbarwerden der jungen Mondsichel am Abendhimmel, als Zeitpunkt für Verabredungen zu benutzen. Die annähernde Gleichheit der Lunation mit gewissen biologisch gekennzeichneten Zeitabschnitten veranlaßte Unkundige, einen ganzen Rattenkönig von abergläubischen Vorstellungen an die Mondsichel zu hängen. Auch heute ist dieser medizinische und gärtnerische Aberglaube nicht völlig erloschen; die indogermanische Rasse hält ihn mit einer Zähigkeit fest, die eines bessern Gegenstandes würdig wäre. Ähnlich verhält es sich mit den Ansichten über Mondwechsel und Witterung, die in der Hauptsache auch nur als Aberglauben bezeichnet werden können.

Die heißen Länder der subtropischen Zone lassen den täglichen Himmelslauf schärfer erkennen als unser dem Nordpol näheres Vaterland, da nachts die Höhenverschiebung der Sterne offenbar weit mehr auffallen muß als die azimutale. Wie diese Länder, wo zudem die Dämmerung kürzer und die Nachtarbeit der Witterung wegen häufiger notwendig ist, fast von selbst die Heimat der Astronomie wurden, so ging von ihnen auch die Zeitrechnung aus; nicht nur, weil sich deren wissenschaftlicher Unterbau früh errichten ließ, sondern auch, weil man zu den Zusammenkünften aus weiter Ferne am liebsten in kühlen und hellen Mondnächten reiste und so zur Festlegung der Feiertage auf die Vollmondstage kam.

Nun ist die mittlere Länge der Lunation, $29^d,5306$, von dem 12. Teile des tropischen Jahres, $30^d,4369$, so wenig verschieden, daß es nahe lag, im allgemeinen das Jahr gleich 12 Lunationen zu setzen und dadurch eine ungemein bequeme Einteilung zu bekommen, da die Zwölfzahl wieder die Teiler 2, 3, 4 und 6 besitzt. Mit dem Unterschiede mußte man sich auf irgend eine Art abfinden.

Die roheste Form, die sich aber doch bei den Mohammedanern erhalten hat, ist das reine Mondjahr. Man setzt die Lunation grundsätzlich gleich $29^d,50$ und nimmt dementsprechend 12 Monate an, die abwechselnd 29 und 30^d haben. Da $12 \times 29^d,5 = 354^d$, so eilt man dem Sonnenlauf jährlich um $11^d,2422$ voraus; zuweilen nur um $10^d,2422$, da in einem 30jährigen Cyklus in 11 verschiedenen Jahren je einmal ein voller Monat (von 30^d) für einen hohlen (von 29^d) gesetzt wird, so daß dann drei volle Monate aufeinander folgen. — Dieses Voraneilen vor der Sonne wird nicht ausgeglichen; und so erklärt es sich, daß die Anhänger des Islam, obgleich ihr erstes Jahr am 15. Juli 622 n. Chr. (am Tage der Hedschra) begann, jetzt nicht etwa 1276 zählen, sondern (1898, Mai 22.) bereits den Neujahrstag von 1316 haben. Fällt ein Monatsanfang (z. B. 1316, Safar 1.) heuer mit dem Sommersolstiz zusammen (1898, Juni 21.), so tritt er alle folgenden Jahre immer 11 Tage früher ein, und nach 8 Jahren ist er bereits beim Frühlingsäquinox angelangt. So

---

[1] Der wahre Neumond oder die Konjunktion des Mondes mit der Sonne läßt sich offenbar im allgemeinen nicht beobachten; nur die Sonnenfinsternis, eine Erscheinung, die für jeden einzelnen Ort ziemlich selten ist, giebt seinen Zeitpunkt unmittelbar an.

wandert z. B. auch der Fastenmonat Ramadân in einem Menschenalter durch alle natürlichen Jahreszeiten, da 33,5 reine Mondjahre = 32,5 tropischen Jahren sind. Andererseits wandert z. B. der Tag des Hochwassereintritts im Nil durch das ganze arabische Jahr. Es liegt auf der Hand, daß eine solche Zeitrechnung, die schon in ihrer Heimat unbequem sein muß, in Mitteleuropa bei dem scharf ausgeprägten Wechsel der Jahreszeiten einfach unmöglich wäre. Ein Umlauf z. B. der 40tägigen Fastenzeit würde ja die größten wirtschaftlichen Schwierigkeiten bieten. — Der 1. des mohammedanischen Monats ist der scheinbare Neumondstag. Es sind 30 arabische Jahre oder 360 Monate = $30 \times 354^d + 11^d$ (Schalttage), im ganzen = $10\,631^d$, also ein Jahr im Mittel = $354^d,3667$; ein Monat = $10\,631^d : 360 = 29^d,5305\,556$. Das stimmt mit dem wahren Werte (S. 110) auf $0^d,00003$ überein, so daß erst nach mehr als 30 000 Monaten oder 2500 Mondjahren ein Fehler von einem Tage erreicht wird.

Die Juden rechnen gleichfalls nach Mondjahren, und ihre Monate beginnen mit dem scheinbaren Neumonde; auch sind die Monate abwechselnd 29 und 30^d lang. Das Passahfest fällt auf den 15. des Monats Nisan (Nissan), also auf einen Vollmondstag. Schon in alter Zeit haben die Israeliten die Verschiebung gegen das Sonnenjahr als Übelstand empfunden. Da sie nach Moses' Vorschrift (3 Mos. 23, 5—11) am zweiten Ostertage frische Ähren opfern mußten, sahen sie sich, wenn infolge ihres Mondkalenders die Ähren noch nicht reif waren, zur Einschaltung eines Monats (Veadar, nach dem Adar) gezwungen. Indem man hierbei nun auch die Abweichung der $29^d,50$ von der wahren Lunationsdauer berücksichtigte, ist man allmählich zu einem höchst verwickelten Schaltsysteme gelangt. — Die Jahre werden nach Erschaffung der Welt gezählt, wie sie von den Juden angenommen wird. Das Gemeinjahr 5659 beginnt 1898, Sept. 17. Das mosaische Jahr ist ein gebundenes Mondjahr, dessen Mittelwert dem tropischen Sonnenjahre gleichkommt.

Das Mondjahr der Griechen wurde schon zur Solonischen Zeit durch Schaltmonate mit dem Sonnenjahre gleichgehalten; man verbesserte das Verfahren, die sogen. Trieteris (τρίς, dreimal, ἔτος, Jahr), um 500 durch eine Oktaeteris (ὀκτώ, acht, ἔτος) und endlich im Jahre 433 durch den neunzehnjährigen Cyklus des Mathematikers Meton. Es sind nämlich

19 tropische Jahre = $6939^d,6018$
235 Lunationen = $6939^d,6881$.
Der Unterschied ist = $0^d,0863 = 2^h,07$.

Sorgte man also dafür, daß während 235 Lunationen 19mal die Jahreszahl gewechselt wurde, so kam man der Wahrheit nahe bis auf einen Fehler, der erst in 220 Jahren einen Tag ausmachte. Selbstverständlich mußte der einzelne Monat aus einer ganzen Anzahl von Tagen bestehen. Meton setzte seinen Cyklus aus 125 vollen Monaten zu 30^d und 110 hohlen Monaten zu 29^d zusammen; das sind zusammen 6940^d; der Cyklus enthält 12 Gemeinjahre zu 12 Monaten und 7 Schaltjahre zu 13 Monaten. Hierbei war also das Jahr = $6940^d : 19 = 365^d,2632$ und der Monat = $6940^d : 235 = 29^d,5319$ angenommen worden. Um 330 führte man auf Antrag des Kallippos eine weitere Verbesserung ein: in jedem vierten Cyklus wurde durch Weglassung eines Tages ein voller Monat in einen hohlen verwandelt, womit das Jahr zu $(4 \times 6940^d - 1^d) : 76 = 27\,759^d : 76 = 365^d,2500$ (ganz genau) und der Monat zu $27\,759^d : 940 = 29^d,5309$ angenommen war. Diese Festsetzung kommt, wie man sieht, der Wahrheit recht nahe.

Der verwickelte Kalender der Babylonier beruhte gleichfalls auf dem gebundenen Mondjahre; dabei scheinen sie sich nicht, gleich den übrigen Völkern

Vorderasiens, nach der mittlern Lunation von 29^{d},53, sondern nach deren wahrer Länge gerichtet zu haben, die aus verschiedenen Gründen (vgl. S. 110) etwas veränderlich ist. Näheres wolle man in der ausgezeichneten Monographie des vor einigen Jahren verstorbenen Epping[1] nachsehen.

In Ostasien scheint man sich des reinen Sonnenjahres weit früher als in den vordern Ländern bedient zu haben; es sind dort in den meisten Gebieten die Jahreszeiten scharf genug ausgeprägt, um ein genaues Schritthalten mit dem Sonnenlaufe rätlich erscheinen zu lassen. Auch von den Ägyptern rühmt Herodot[2] mit Recht, daß sie, klüger als die Hellenen, ein festes Jahr von 365 Tagen hatten, nämlich 12 30tägige Monate mit 5 Ergänzungstagen[3]. Hierdurch kam man nun freilich dem wahren Werte von 365^{d},2422, nach welchem sich mit der Nilschwelle, Bodenbestellung und Fruchtreife das ganze wirtschaftliche Leben dieses hochentwickelten Volkes richtete, keineswegs nahe genug. Schon in sehr früher Zeit (anscheinend um 1313 v. Chr.) begann deshalb eine zweite strengere Zählung neben der rohern durchgeführt zu werden, wodurch sich die Priester die angenähert richtige Vorhersage der Überschwemmungen sicherten. Zur Erklärung des hierbei befolgten Grundsatzes ist eine Definition zu geben, die wir gleich mit ein paar ähnlichen, die auch sonst gebraucht werden, mitteilen wollen.

Geht ein Punkt des Himmels gleichzeitig mit der Sonne auf, so hat er seinen kosmischen[4] Aufgang oder wahren Frühaufgang; das gilt für jeden Tag offenbar von einer ganzen Menge von Punkten, die zusammen einen halben Hauptkreis erfüllen; ähnlich bezieht sich der kosmische Untergang oder wahre Frühuntergang auf die Punkte der andern Hälfte dieses Kreises; sie gehen mit aufgehender Sonne unter. Der Himmelsglobus läßt diesen Kreis, der mit dem Horizont bei Sonnenaufgang zusammenfällt, sofort erkennen. Bei untergehender Sonne umfaßt die Osthälfte des Himmels die Sterne, welche akronychisch[5] aufgehen, die Westhälfte die akronychisch untergehenden Sterne. Für akronychischen Auf- oder Untergang sagt man auch: wahrer Spätaufgang und wahrer Spätuntergang. Sehen wir die tägliche Verschiebung der Sonne in der Ekliptik als geringfügig an, so können wir ziemlich genau sagen, daß derselbe Ekliptikalpunkt, der heute morgen kosmisch aufgegangen ist, heute abend akronychisch untergehen wird; der diametral entgegengesetzte Punkt ist kosmisch untergegangen und wird akronychisch aufgehen. Für andere Sterne gilt diese Beziehung nicht; so z. B. ist es klar, daß der Stern im Himmelsäquator, der an einem Hochsommertage mit der Sonne aufgegangen ist, keineswegs mit ihr untergehen wird; denn sein Tagesbogen beträgt nur 12^{h}, er geht also bereits am Nachmittage unter.

Ferner leuchtet ein, daß sich jene vier Zeitpunkte im allgemeinen nicht mit freiem Auge beobachten lassen. Die praktische Astronomie der alten Völker rechnete mit andern Zeitpunkten. Da die Sonne beständig in der Ekliptik fortschreitet, so

---

[1] Astronomisches aus Babylon oder das Wissen der Chaldäer über den gestirnten Himmel. Unter Mitwirkung von P. J. N. Straßmaier S. J. von J. Epping S. J. Freiburg, Herder, 1889. — Einige andere Angaben entnehmen wir dem Handbuche der Astronomie, ihrer Geschichte und Litteratur von R. Wolf. Zürich, Schultheß, 1890.

[2] Euterpe § 4.

[3] Ähnlich die Perser schon in sehr alter Zeit, während die Mexicaner seltsamerweise 365tägige Jahre hatten und alle 52 Jahre nicht weniger als 13 Tage einschalteten, wodurch sie den Mittelwert 365^{d},25 erreichten.

[4] *Κόσμος*, Welt. [5] *Ἄκρος*, hoch; *νύξ*, Nacht.

gehen, wie wir wissen, alle Sterne, nach mittlerer Sonnenzeit zu rechnen, von Tag zu Tag um 4^m früher auf und unter. Ein Fixstern, der neulich noch abends nach der Dämmerung im SW stand, steht heute im Dämmerlichte, und nach einiger Zeit wird er wegen zu großer scheinbarer Sonnennähe ganz verschwunden sein. Das ist der scheinbare Spätuntergang oder der heliakische[1] Untergang des Sternes; er tritt offenbar bereits einige Wochen vor dem wahren Spätuntergange ein. Der Unterschied hängt aber nicht nur von der Polhöhe, der RA und Decl des Sternes ab, sondern auch von der Helligkeit des Sternes und, ganz abgesehen vom Wetter, auch noch von der Sehschärfe des Beobachters. Nach längerer Zeit ist nun die RA der Sonne allmählich merkbar größer geworden als die konstante RA des Fixsternes: der Stern geht morgens vor der Sonne auf, und sein Loswinden aus den Strahlen der Morgendämmerung, sein erstes Sichtbarwerden am Osthimmel, das ist es, was wir den scheinbaren Frühaufgang oder heliakischen Aufgang des Sternes nennen[2].

Ehe man mit Schattenwerfern (Gnomonen) oder Winkelmeßwerkzeugen die Mittagshöhe der Sonne und damit bei bekannter Polhöhe ihre Decl und ihre Stellung in der Ekliptik zu messen vermochte, war offenbar die Beobachtung des heliakischen Auf- oder Unterganges eines hellen Sternes oder Sternbildes das beste Mittel, um sich über die Jahreszeit zu unterrichten, zumal in den mediterranen und subtropischen Breiten, wo sich diese Erscheinungen der kurzen Dämmerung und des klaren Himmels wegen auf den Tag genau wahrnehmen lassen. Auch nachdem die Astronomen längst zu exaktern Mitteln übergegangen waren, blieb das Volk noch lange dem alten Brauche treu; wie später die christlichen Völker die Ackerbestellung und Zinszahlung sowie die Wetterregeln an Heiligentage und nicht an trockene Daten[3] zu binden pflegten, so waren damals, als der gemeine Mann der Natur noch näher stand, die heliakischen Erscheinungen das Signal für wirtschaftliche Thätigkeit, aber auch für Sturm- und Wetterzeiten auf hoher See. Das zeigen manche Stellen des Horaz und anderer Dichter.

Kehren wir nun zu den Ägyptern zurück. Jahrhunderte lang beobachteten ihre Priester als Jahresanfänge die scheinbaren Frühaufgänge des Sothis oder Sirius, des hellsten Fixsternes. Man sollte meinen, sie wären hierdurch zu dem richtigen Werte $365^d,24$ für das tropische Jahr gelangt. Thatsächlich fanden sie aus richtiger Beobachtung $365^d,25$. Dieser auffallende Unterschied gegen das wirkliche tropische Jahr beruht, wie wir jetzt wissen, auf den später zu besprechenden Erscheinungen der Präcession und Eigenbewegung. Warum nun die Priester nicht allmählich an dem verfrühten Eintritte der Nilflut die Ungenauigkeit ihrer Annahme entdeckt haben, ob sie diese wohl gekannt, aber sich mit Ausreden zu helfen gewußt haben, ob vielleicht durch meteorologische Vorgänge[4] die Fluten eine parallel gehende Verspätung erfahren

---

[1] *Ἡλιακός* von *ἥλιος*, Sonne.

[2] Der Vollständigkeit wegen sei noch erwähnt, daß ein Stern, den man beim Morgengrauen untergehen sieht, seinen scheinbaren kosmischen Untergang hat, und ein Stern, den man beim Dunkelwerden aufgehen sieht, seinen scheinbaren akronychischen Aufgang.

[3] Das geht so weit, daß sich einige Volksregeln sogar auf die beweglichen Tage des Kirchenkalenders beziehen, z. B. die bekannten Jagdregeln für Reminiscere etc.; diese Tage haben doch einen fünfwöchigen Spielraum im Sonnenjahre.

[4] Wie Förster in den Mitteilungen zum astronomischen und chronologischen Teile des preußischen Normalkalenders für 1897 vermutet.

haben, wird sich nicht leicht entscheiden lassen. Jedenfalls blieb der korrektere Kalender, der alle vier Jahre einen Schalttag einführt, gegen den Volkskalender von 365^d in 4 × 365 oder 1460 Jahren um ein volles Jahr zurück. Dieser Zeitraum ist die Sothis-Periode. Nach Censorinus ist das Jahr 137 n. Chr. ein Anfangsjahr, wo die beiden Zählungen zusammenfallen.

Der römische Kalender vor Cäsar war wohl der schlechteste, den ein Kulturvolk ersinnen konnte. Von den 12 Monaten Martius*, Aprilis, Maius*, Iunius, Quintilis*, Sextilis, September, October*, November, December, Ianuarius, Februarius hatten die mit * bezeichneten 31^d, der Februar 27, die übrigen 29^d, anscheinend darum, weil das seltsame Terminwesen der Römer nur Monate mit ungerader Tageszahl brauchen konnte. Es kamen also die 354^d des reinen Mondjahres heraus; ab und zu half man sich mit planlosen Schaltungen; im Jahre 153 v. Chr. wurde, neben andern Maßregeln, der Jahresanfang von den Iden (dem Vollmonde) des Martius auf die Kalenden (den scheinbaren Neumond) des Ianuarius verlegt; der ältere Anfang erklärt noch die Namen Quintilis bis December. Im Jahre 47 v. Chr. führte Julius Cäsar, um der wieder einmal eingerissenen Verwirrung endgültig zu steuern, als Pontifex maximus einen verbesserten Kalender ein[1], der als julianischer noch jetzt bei den griechischen Christen gebraucht wird. Hiernach hat jedes Jahr 365^d, jedes vierte 366; der Schalttag wird so eingefügt, daß der dies VI. ante Kal. Mart., d. h. der 24. Februar, zweimal gezählt wird, als sextus und dann als bissextus; daher der Name annus bissextilis, année bissextile, für das Schaltjahr. Zur Zeit des Augustus brachte die Gesinnungstüchtigkeit des Senates eine neue Seltsamkeit auf. Cäsar hatte den Monaten 30 oder 31^d gegeben, dem Februar jedoch im Gemeinjahre nur 29, um die Zahl 365 herauszubekommen. Da nun ihm zu Ehren der Quintilis in Iulius umgetauft war, mußte der Sextilis den Namen Augustus führen; und da er nur 30 Tage hatte, nahm man, um den lebenden Cäsar nicht kleiner als den toten erscheinen zu lassen, dem Februar einen weitern Tag. Im übrigen haben sich die Tageszahlen der Monate gehalten; und wenn ihre Verteilung auch ziemlich unvernünftig ist, so wäre es noch weniger vernünftig, jetzt noch daran rütteln zu wollen. Als eine Albernheit ersten Ranges muß der im Jahre 1896 aufgetauchte amerikanische Vorschlag bezeichnet werden, man solle das Jahr in 13 Monate zu 28^d teilen und einen, im Schaltjahr zwei überzählige Tage anhängen. Dann würden in einem und demselben Jahre z. B. der 1., 8., 15. und 22. jedes Monats auf Sonntage fallen. Daß man sich durch diesen fragwürdigen Vorteil aller distributiven Vorzüge der Zwölfzahl berauben würde, ist auf den ersten Blick zu sehen. — Auch den französischen Revolutionskalender, der das Sonnenjahr mit der Herbstnachtgleiche begann und in Anlehnung an die alten Ägypter und Perser nach 12 Monaten von 30^d die 5 oder 6 Ergänzungstage anflickte, brauchen wir hier nicht zu besprechen.

* * *

Zur Zeit der julianischen Reform fiel das Äquinox auf den 24. März. Das Konzil von Nicäa nahm an, daß das Äquinox immer auf den 21. fiele, auf den es damals schon, infolge der zu großen Länge des julianischen Jahres, hinaufgerückt war. Ferner wurde festgesetzt, daß das christliche Osterfest an dem Sonntage zu feiern sei, der dem Frühlingsvollmonde folge, d. h. dem nach dem 21. März

---

[1] Nach Rücksprache mit dem alexandrinischen Astronomen Sosigenes, den er auf seinem ägyptischen Feldzuge kennen gelernt haben mochte. Das julianische Jahr ist ja gleich dem ägyptischen von 365^d,25.

eingetretenen Vollmonde. Es wurde hierdurch der langjährige Osterstreit in der Christenheit beglichen; zugleich wurde einerseits ein Zusammenfallen des höchsten christlichen Feiertages mit dem jüdischen Passahfeste vermieden, andererseits aber in den julianischen Kalender, der dem Festcyklus zu Grunde gelegt war, das altjüdische Princip des gebundenen Mondjahres hineingebracht. Wir werden auf die Osterrechnung zurückkommen. Für jetzt bemerken wir, daß der Fehler des julianischen Kalenders $365^d,2500 - 365^d,2422 = 0^d,0078$ beträgt, also[1] in 128^a auf einen vollen Tag anschwillt. Das wirkliche Äquinox rückt also mit der Zeit auf immer frühere Märzdaten, und man übertrat mehrmals, wenn nicht dem Buchstaben so doch dem Sinne nach, die nicänische Vorschrift, wenn man den Ostervollmond nach dem 21. eintreten ließ. Der Fehler war im Jahre 1582, nach 1257^a, auf $0^d,0078 \times 1257 = 9^d,8$ gekommen, als unter Papst Gregor XIII. (Hugo Buoncompagni) die lange angestrebte Umgestaltung endlich gelang. Zur einmaligen Wegschaffung des Fehlers bestimmte er, daß nach dem 4. Oktober 1582 sofort der 15., nicht der 5. zu schreiben sei[2]; um aber die Fehlerquelle für immer zu verschließen, läßt der gregorianische Kalender jedes Säkularjahr (wie 1700, 1800, 1900) ein Gemeinjahr von 365^d und nur die durch 4 teilbaren Säkularjahre, wie 1600 und 2000, wieder Schaltjahre sein. Das gregorianische Jahr ist also gleich $(365^d \times 400 + 97^d) : 400 = 365^d,2425$. Man hat, um es dem tropischen Jahre noch genauer gleich zu machen, die Weglassung eines Schalttages in 3000 oder 3200^a vorgeschlagen; das ist zunächst noch gegenstandslos, und außerdem ist es fraglich, ob wir die Veränderlichkeit des tropischen Jahres[3] genau genug kennen, um darüber von langer Hand entscheiden zu dürfen. — Da die griechische Kirche an dem alten Kalender festhält und in den Jahren 1700 und 1800 zwei weitere Tage verloren hat, beträgt der Unterschied zwischen dem neuen und dem alten Stil zur Zeit volle 12 Tage; er wird nach dem Februar 1900 auf 13^d springen.

Die Berechnung des Osterfestes ermöglichte der Astronom Aloysius Lilius (Luigi Lilio, von Hause aus Arzt) durch ein geschicktes System, das der Wahrheit für diesen Zweck nahe genug kommt. Wir werden uns darauf wie auch auf die Ableitung des Ostertermins mit Hilfe der Epakten und des Sonnenzirkels hier noch nicht einlassen, wollen aber die Formel ohne Beweis mitteilen, wodurch Karl Friedrich Gauß im Jahre 1816 die Berechnung des Ostersonntages nach der nicänischen Vorschrift sehr erleichtert hat. Man nennt die Reste, welche sich bei der Division der Jahreszahl durch 19, durch 4 und 7 ergeben[4], der Reihe nach a, b und c. Nun führt man zwei Zahlen x und y ein; für den julianischen Kalender ist beständig $x = 15$, $y = 6$, für den gregorianischen ist in den Zeiträumen

	1583—1699.	1700—1799.	1800—1899.	1900—2099.
x =	22	23	23	24
y =	2	3	4	5.

Nun wird $\frac{19a + x}{30}$ dividiert und der Rest d genannt; dann teilt man $\frac{2b + 4c + 6d + y}{7}$ und nennt den Rest e. Dann fällt Ostern im allgemeinen auf März $22 + d + e$, eine Summe, die meistens einen Tag im April (April $d + e - 9$) bedeuten wird.

---

[1] Die Abkürzung bedeutet das Jahr (annus).

[2] Dieser 15. ist der Todestag der hl. Theresia gewesen. — Man wählte den Oktober, um den Gang der kirchlichen Feste möglichst wenig zu stören.

[3] Vgl. Kap. 19.

[4] Die Zahl 19 kommt durch den Metonischen Cyklus hinein; 4 und 7 durch die Schalt- und Wochentage.

In zwei Fällen giebt für den gregorianischen Kalender die Gaußische Formel, wie schon ihr Urheber bemerkt hat, den Ostertag unrichtig an. Ist $d = 29$ und $e = 6$, so hat man nicht, der Formel gemäß, den 26., sondern den 19. April zu nehmen; ist $d = 28$, $e = 6$ und außerdem $a > 10$, so ist April 18. statt April 25. zu rechnen. — Es ist möglich, daß sich die Christenheit auf eine neue Reform, etwa im Sinne einer Festlegung des Ostertages auf den 3. Sonntag nach dem Äquinox, einigen wird. So ehrwürdig die nicänische Festsetzung ihres hohen Alters wegen ist, so wenig darf man behaupten, daß die Verhältnisse, denen sie ihren Ursprung dankt, jetzt noch beständen, und daß sie das Wesen der Religion berührte; dagegen bringt zweifellos im mittlern und nördlichen Europa die fünfwöchige Schwankung (März 22. bis April 25.) wegen des Zusammenhanges der Studienordnungen und selbst wirtschaftlicher Fragen mit dem Osterfestkreise manche Verdrießlichkeiten mit sich. Überdies hat man aus den Konzilsakten nachgewiesen, daß nicht die Zurückführung des Osterfestkreises auf den Mond der leitende Gedanke war, sondern die Einigung der Christen des Morgen- und Abendlandes in der Feier der höchsten Kirchenfeste.

* * *

Für den Astronomen ist die reine Tageszählung in vielen Fällen bequemer als alle Kalender, z. B. wenn es sich um den Lichtwechsel eines Fixsternes in langen Zeiträumen handelt, der mit dem tropischen Jahre nichts zu thun hat. Es empfiehlt sich dann, nach einer sogen. Ära, etwa der julianischen, zu zählen und den Tag decimal zu teilen. Die julianische Ära beginnt mit dem Jahre 4713 v. Chr. nach gewöhnlicher Zählung oder -4712 nach astronomischer, wo man vor dem Jahre 1 noch das Jahr 0 einschiebt[1]. Man denkt sich also mit dem Beginne dieses Jahres den julianischen Kalender eingeführt und dann einfach weitergezählt. Zu Ende 1897 n. Chr. waren $4713^a + 1897^a = 6610^a$ dieser Ära abgelaufen, darunter 1653 Schaltjahre[2]; wir haben also $6610 \times 365^d + 1653^d = 2\,412\,650^d + 1653^d = 2\,414\,303^d$. Zu berücksichtigen ist aber, daß nach gregorianischem Kalender das Jahresende 12^d früher eingetreten ist. Mit Ablauf von 1897, Dezember 31., oder wie man auch sagt, von 1898, Januar 0. neuen Stiles sind mithin $2\,414\,291^d$ dieser Ära verflossen, zu Anfang des Tages 1898, Januar 0 also $2\,414\,290^d$. Diese Zahl finden wir für die Jahresanfänge 1880 bis 1930 in der Tabelle (S. 128) vermerkt. Es sei nun 1898, April 10., um $10^h,6$ eine Beobachtung gemacht worden[3]. Wir können diese vollständig decimal angeben. Zunächst entnehmen wir für den Beginn des Jahres den julianischen Tag aus jener Kalendertafel. Dann zeigt uns die Tagestafel (S. 129), daß April 10. der 100. Tag des Gemeinjahres ist. Zu Beginn dieses Tages $(0^h,0)$ hatten wir also $2\,414\,390^d$ der julianischen Ära. Indem wir endlich der Stundentafel (S. 130) entnehmen, daß $10^h,6 = 0^d,442$ sind, bekommen wir $2\,414\,390^d,442$ als Epoche der

[1] In diesem Jahre sind nämlich die Goldene Zahl, die Römerzinszahl (siehe S. 132) und der sogen. Sonnenzirkel alle drei gleich 1 gewesen; bei dem Mangel an gemeinsamen Teilern tritt das erst nach $19 \cdot 28 \cdot 15^a = 7980^a$ wieder ein. Aufgebracht wurde diese Periode von Joseph Scaliger (1540—1609), der sie seinem Vater Julius Scaliger zu Ehren die julianische nannte — also nicht unmittelbar nach dem Erneuerer des altrömischen Kalenders.

[2] Nämlich von -4712 bis 0, beide Jahre mitgerechnet, 1179 Schaltjahre und 474 weitere von $+4$ bis $+1896$ einschließlich.

[3] Also $10^h\,36^m$; bei vielen Beobachtungen, z. B. den meisten über veränderliche Sterne, ist die erste Decimale der Stunde hinreichend genau.

Beobachtung. Damit können wir andere auf dieselbe Weise bestimmte Epochen offenbar viel bequemer vergleichen, als uns die gewöhnliche Tages- und Stundenzählung gestatten würde.

Gregorianischer Kalender von 1880—1930.

Die Schaltjahre sind mit einem * vor der Jahreszahl bezeichnet; sie haben je zwei Sonntagsbuchstaben.

Jahr.	Sonntags-buchstabe.	Julianische Ära, Januar 0.	Goldene Zahl.	Epakte.	Ostern (M = März).	Jahr.	Sonntags-buchstabe.	Julianische Ära, Januar 0.	Goldene Zahl.	Epakte.	Ostern (M = März).
*1880	dc	2407715	19	18	M 28	1906	g	2417211	7	5	15
81	b	8081	1	*	17	07	f	7576	8	16	M 31
82	A	8446	2	11	9	* 08	ed	7941	9	27	19
83	g	8811	3	22	M 25	09	c	8307	10	8	11
* 84	fe	9176	4	3	13	10	b	8672	11	19	M 27
85	d	9542	5	14	5	11	A	9037	12	*	16
86	c	9907	6	25	25	* 12	gf	9402	13	11	7
87	b	2410272	7	6	10	13	e	9768	14	22	M 23
* 88	Ag	0637	8	17	1	14	d	2420133	15	3	12
89	f	1003	9	28	21	15	c	0498	16	14	4
90	e	1368	10	9	6	* 16	bA	0863	17	25	23
91	d	1733	11	20	29	17	g	1229	18	6	8
* 92	cb	2098	12	1	17	18	f	1594	19	17	M 31
93	A	2464	13	12	2	19	e	1959	1	29	20
94	g	2829	14	23	M 25	* 20	dc	2324	2	10	4
95	f	3194	15	4	14	21	b	2690	3	21	M 27
* 96	ed	3559	16	15	5	22	A	3055	4	2	16
97	c	3925	17	26	18	23	g	3420	5	13	1
98	b	4290	18	7	10	* 24	fe	3785	6	24	20
99	a	4655	19	18	2	25	d	4151	7	5	12
1900	g	5020	1	29	15	26	c	4516	8	16	4
01	f	5385	2	10	7	27	b	4881	9	27	17
02	e	5750	3	21	M 30	* 28	Ag	5246	10	8	8
03	d	6115	4	2	12	29	f	5612	11	19	M 31
* 04	cb	6480	5	13	3	30	e	5977	12	*	20
05	A	6846	6	24	23						

Chronologische Epaktentafel.

Goldene Zahl:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Bis 1582	8	19	*	11	22	3	14	25	6	17	28	9	20	1	12	23	4	15	26
1582—1699	1	12	23	4	15	26	7	18	29	10	21	2	13	24	5	16	27	8	19
1700—1899	*	11	22	3	14	25	6	17	28	9	20	1	12	13	4	15	26	7	18
1900—2199	29	10	21	2	13	24	5	16	27	8	19	*	11	22	3	14	25	6	17

Vielfache des mittlern Lunationswertes.

1	29,5305877	3	88,5917630	5	147,6529384	7	206,7141137	9	265,7752891
2	59,0611753	4	118,1223507	6	177,1835260	8	236,2447014	10	295,3058767

Es ist log 29,5305877 = 1,4702721.

Tageszählung das Jahr hindurch.

Gemeinjahr.

	Jan.	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	
1.	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335	1.
2.	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336	2.
3.	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337	3.
4.	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338	4.
5.	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339	5.
6.	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340	6.
7.	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341	7.
8.	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342	8.
9.	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343	9.
10.	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344	10.
11.	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345	11.
12.	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346	12.
13.	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347	13.
14.	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348	14.
15.	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349	15.
16.	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350	16.
17.	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351	17.
18.	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352	18.
19.	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353	19.
20.	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354	20.
21.	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355	21.
22.	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356	22.
23.	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357	23.
24.	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358	24.
25.	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359	25.
26.	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360	26.
27.	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361	27.
28.	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362	28.
29.	29	—	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363	29.
30.	30	—	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364	30.
31.	31	—	90	—	151	—	212	243	—	304	—	365	31.
	Jan.	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	

Schaltjahr.

	Jan.	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	
1.	1	32	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336	1.
2.	2	33	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337	2.
3.	3	34	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338	3.
4.	4	35	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339	4.
5.	5	36	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340	5.
6.	6	37	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341	6.
7.	7	38	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342	7.
8.	8	39	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343	8.
9.	9	40	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344	9.
10.	10	41	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345	10.
11.	11	42	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346	11.
12.	12	43	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347	12.
13.	13	44	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348	13.
14.	14	45	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349	14.
15.	15	46	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350	15.
16.	16	47	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351	16.
17.	17	48	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352	17.
18.	18	49	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353	18.
19.	19	50	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354	19.
20.	20	51	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355	20.
21.	21	52	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356	21.
22.	22	53	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357	22.
23.	23	54	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358	23.
24.	24	55	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359	24.
25.	25	56	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360	25.
26.	26	57	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361	26.
27.	27	58	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362	27.
28.	28	59	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363	28.
29.	29	60	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364	29.
30.	30	—	90	121	151	182	212	243	274	304	335	365	30.
31.	31	—	91	—	152	—	213	244	—	305	—	366	31.
	Jan.	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	

Normaltage der einzelnen Monate und Epakten zu Beginn der Monate.

Januar	1,	8,	15,	22,	29	Ep. 1	Mai	7,	14,	21,	28		Ep. 29	September	3,	10,	17,	24		Ep. 24
Februar	5,	12,	19,	26		*	Juni	4,	11,	18,	25		28	Oktober	1,	8,	15,	22,	29	23
März	5,	12,	19,	26		1	Juli	2,	9,	16,	23,	30	27	November	5,	12,	19,	26		22
April	2,	9,	16,	23,	30	*	August	6,	13,	20,	27		26	Dezember	3,	10,	17,	24,	31	21

Die Epakten gelten für die Nulltage.

Wochentag der Normaltage.

Sonntagsbuchstabe	A	b	c	d	e	f	g
Wochentag d. N.	☉	♄	♀	♃	☿	♂	☾
Reste für die julianische Ära	6	5	4	3	2	1	0

Zu beachten, daß im Schaltjahre der Sonntagsbuchstabe wechselt.

Verwandlung von Stunden und Zehntelstunden in Tausendstel des Tages.

0h	0h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0h
0	000	042	083	125	167	208	250	292	333	375	417	458	500	542	583	625	667	708	750	792	833	875	917	958	000	0
1	004	046	088	129	171	213	254	296	338	379	421	463	504	546	588	629	671	713	754	796	838	879	921	963	004	1
2	008	050	092	133	175	217	258	300	342	383	425	467	508	550	592	633	675	717	758	800	842	883	925	967	008	2
3	013	054	096	138	179	221	263	304	346	388	429	471	513	554	596	638	679	721	763	804	846	888	929	971	013	3
4	017	058	100	142	183	225	267	308	350	392	433	475	517	558	600	642	683	725	767	808	850	892	933	975	017	4
5	021	063	104	146	188	229	271	313	354	396	438	479	521	563	604	646	688	729	771	813	854	896	938	979	021	5
6	025	067	108	150	192	233	275	317	358	400	442	483	525	567	608	650	692	733	775	817	858	900	942	983	025	6
7	029	071	113	154	196	238	279	321	363	404	446	488	529	571	613	654	696	738	779	821	863	904	946	988	029	7
8	033	075	117	158	200	242	283	325	367	408	450	492	533	575	617	658	700	742	783	825	867	908	950	992	033	8
9	038	079	121	163	204	246	288	329	371	413	454	496	538	579	621	663	704	746	788	829	871	913	954	996	038	9
10	042	083	125	167	208	250	292	333	375	417	458	500	542	583	625	667	708	750	792	833	875	917	958	000	042	10
	0h	1	2	3	4	5	6h	7	8	9	10	11	12h	13	14	15	16	17	18h	19	20	21	22	23	24h	

Die mit einem Strich bedeckten letzten Stellen sind nach Abwerfung einer 5 erhöht worden; so ist $17^h,1$ in Wahrheit — $0^d,7125$.

Julianische Ära für den 0. Januar.

Alter Stil.			Neuer Stil.		
001	n. Chr.	1 721 423	—		—
101	„	1 757 948	—		—
201	„	1 794 473	—		—
301	„	1 830 998	—		—
401	„	1 867 523	—		—
501	„	1 904 048	—		—
601	„	1 940 573	—		—
701	„	1 977 098	—		—
801	„	2 013 623	—		—
901	„	2 050 148	—		—
1001	„	2 086 673	—		—
1101	„	2 123 198	—		—
1201	„	2 159 723	—		—
1301	„	2 196 248	—		—
1401	„	2 232 773	—		—
1501	„	2 269 298	1501	n. Chr.	2 269 288
1601	„	2 305 823	1601	„	2 305 813
1701	„	2 342 348	1701	„	2 342 337
1801	„	2 378 873	1801	„	2 378 861
1901	„	2 415 398	1901	„	2 415 385
2001	„	2 451 923	2001	„	2 451 910
2101	„	2 488 448	2101	„	2 488 434
2201	„	2 524 973	2201	„	2 524 958
2301	„	2 561 498	2301	„	2 561 482
2401	„	2 598 023	2401	„	2 598 007
2501	„	2 634 548	2501	„	2 634 531

Tageszahl der Jahre in einem Jahrhundert.

Für Januar 0. gültig.

Jahre.	Tage.	Jahre.	Tage.	Jahre.	Tage.	Jahre.	Tage.	Jahre.	Tage.	Jahre.	Tage.
1	0	18	6 209	35	12 418	52	18 627	69	24 837	86	31 046
2	365	19	6 574	36	12 783	53	18 993	70	25 202	87	31 411
3	730	20	6 939	37	13 149	54	19 358	71	25 567	88	31 776
4	1 095	21	7 305	38	13 514	55	19 723	72	25 932	89	32 142
5	1 461	22	7 670	39	13 879	56	20 088	73	26 298	90	32 507
6	1 826	23	8 035	40	14 244	57	20 454	74	26 663	91	32 872
7	2 191	24	8 400	41	14 610	58	20 819	75	27 028	92	33 237
8	2 556	25	8 766	42	14 975	59	21 184	76	27 393	93	33 603
9	2 922	26	9 131	43	15 340	60	21 549	77	27 759	94	33 968
10	3 287	27	9 496	44	15 705	61	21 915	78	28 124	95	34 333
11	3 652	28	9 861	45	16 071	62	22 280	79	28 489	96	34 698
12	4 017	29	10 227	46	16 436	63	22 645	80	28 854	97	35 064
13	4 383	30	10 592	47	16 801	64	23 010	81	29 220	98	35 429
14	4 748	31	10 957	48	17 166	65	23 376	82	29 585	99	35 794
15	5 113	32	11 322	49	17 532	66	23 741	83	29 950	100	36 159
16	5 478	33	11 688	50	17 897	67	24 106	84	30 315		
17	5 844	34	12 053	51	18 262	68	24 471	85	30 681		

Unsere Tafeln enthalten einige weitere Angaben, die für astronomische und chronologische Zwecke von Wert sind. Die Nummer, welche ein Jahr in dem Metonischen Cyklus (S. 122) einnimmt, wird dessen Goldene Zahl[1] genannt. Mit ihr hängt die Epakte[2] auf das engste zusammen. Die seit dem letzten Neumonde verflossene Zeit nennt man gewöhnlich das Alter des Mondes; dieses ist z. B. beim Vollmonde $= 14^d,765$. Die Jahresepakten geben das Alter des Mondes, vom scheinbaren Neumond an gerechnet, für Januar 0. an, jedoch nicht nach strenger Vorausberechnung, sondern nach dem angenäherten cyklischen Verfahren, wie es im gregorianischen Kalender für die Vorausberechnung des Osterfestes dient. Übrigens sind die Epakten doch leidlich genau; so giebt die strenge Rechnung einen Neumond 1893, Dezember 7. $20^h,6$ Berliner Zeit, und unsere Kalendertafel giebt also für 1894, Januar 0. die Epakte ziemlich richtig zu 23^d an. Im 19. Jahrhundert entspricht der Goldenen Zahl 1 die Epakte 0, wofür man ein * setzt; in den Jahren 1862 und 1881 ist also (cyklisch) am 0. Januar Neumond gewesen. Für 1882 finden wir die Epakte 11 angegeben, und darauf sehen wir die Epakte regelmäßig um 11^d wachsen, wobei jedoch volle 30^d vorkommendenfalls abgezogen werden.

Um die Berechtigung dieses Verfahrens einzusehen, bedenken wir zunächst, daß ein julianisches Jahr, also das Jahr, mit dem wir, von den Säkularjahren abgesehen, durchschnittlich rechnen, $365^d,2500$ hat; ferner sind 12 mittlere Lunationen gleich $354^d,3671$, also um $10^d,8829$ weniger. Ist also im Jahre n der Neumond auf Januar 0,0000 gefallen, so ist im Jahre $n + 1$ zu derselben Zeit der Mond bereits $10^d,8829$ alt. Das gilt allerdings nur durchschnittlich, da in Wahrheit die Gemeinjahre je um $0^d,25$ verspätete Neumonde bringen, was die Schaltjahre immer wieder einholen. Dabei eröffnet ja die Schwankung der wahren Lunationslänge eine neue Fehlerquelle. Sehen wir nun von dieser und der erstgenannten ab, so haben wir, streng genommen, dem Jahre $n + 1$ die Epakte $10^d,8829$ zu geben; dem Jahre $n + 2$ geben wir $21^d,7658$, dem Jahre $n + 3$ ferner $32^d,6487 - 29^d,5306 = 3^d,1181$. Es zeigt sich, daß das von der cyklischen Rechnung befolgte Verfahren, wonach man der Reihe nach 11^d, 22^d, 3^d setzt, im ganzen auf dasselbe hinauskommt. Allerdings sind die Bruchteile zuletzt nicht zu vernachlässigen. Das Jahr $n + 6$ hat, streng genommen, $6^d,2362$ zur Epakte, cyklisch einfach 6; ebenso haben

$n + 9$,	streng gerechnet,	$9^d,3543$,	cyklisch 9^d
$n + 12$	„ „	12,4724	„ 12
$n + 15$	„ „	15,5905	„ 15
$n + 18$	„ „	18,7086	„ 18
$n + 19$	„ „	29,5915	„ *.

Anstatt nämlich, wie bisher, einfach 11^d zu addieren, nimmt man nun 12^d, um den Fehler der cyklischen Rechnung mit einem Schlage zu verbessern. So hat das Jahr $n + 19$ mit der Goldenen Zahl 1 wieder dieselbe Epakte wie das Jahr n mit der Goldenen Zahl 1. Das verlangt offenbar auch der Metonische Cyklus. Es sind ja (vgl. auch S. 122)

$$29^d,5306 \cdot 235 = 6939^d,6881; \text{ während}$$
$$365^d,2500 \cdot 19 = 6939^d,7500 \text{ sind.}$$

[1] Sie ist nicht zu verwechseln mit der Indiktion oder Römerzinszahl. Diese wächst immer von 1 bis 15, um dann wieder bei der 1 anzufangen. Für 1898 hat sie den Wert 11. Die Periode wurde im Jahre 313 n. Chr. von Konstantin für die Steuereinschätzung eingeführt; sie hat keine Beziehung zur Astronomie.

[2] Von ἐπάγω, hole herbei, wird ἐπακτός abgeleitet.

Die wahren Neumonde eilen also den cyklisch berechneten in 19^a um 0^d,0619 voraus, was für das einzelne julianische Jahr 0^d,003258 ausmachen würde; das giebt für 10 000 Jahre 32^d,58, also für einen 2500jährigen Cyklus ziemlich genau 8^d. Nach dem von Lilius vorgeschlagenen gregorianischen Verfahren wird darum die Epakte siebenmal nach je 300^a um 1^d vermehrt, dann aber erst nach 400^a.

Diese Verbesserung, die sogen. Mondgleichung, setzt sich nun mit einer andern, der Sonnengleichung zusammen. Da wir nämlich die Epaktenrechnung auf die julianische Jahreslänge bezogen haben, so muß allemal, wenn man einen Schalttag ausläßt und hierdurch dem julianischen Datum voreilt, die Epakte um 1^d vermindert werden. Man sieht das z. B. am Jahre 1900, wo, der Regel gemäß, 12^d zur Epakte des Vorjahres addiert werden müßten; es werden aber nur 11^d addiert, so daß wir 29 erhalten[1]. Im Jahre 1919 dagegen werden richtig 12^d addiert. — Unsere chronologische Epaktentafel giebt die Jahresepakte für vier verschiedene Zeiträume als Funktion der Goldenen Zahl; letztere wird einfach als Rest erhalten, wenn man die um 1 vermehrte Jahreszahl durch 19 teilt; für 1900 z. B. ist sie gleich 1. Jene vier Zeiträume sind, genauer bestimmt, folgende: a) bis 1582, Oktober 4.; b) 1582, Oktober 15. bis 1699, Dezember 31.; c) 1700, Januar 1. bis 1899, Dezember 31.; d) 1900, Januar 1. bis 2199, Dezember 31.

Dabei ist folgendes zu beachten. Die bis zur gregorianischen Reform in der Christenheit maßgebend gewesene alexandrinische Epakte entbehrte der Verbesserung durch Sonnen- und Mondgleichung. Sie war darum in zweifacher Weise unrichtig. Da sie hätte mehrfach vergrößert werden müssen, indem die wahren Neumonde dem Metonischen Cyklus, wenn er auf das julianische Jahr bezogen wird, vorauseilen, so war sie im Jahre 1582 fast um volle 3 Tage zu klein, so daß sie bei der Reform um diesen Betrag vermehrt wurde. Andererseits wurde aber das Datum plötzlich um 10^d vermehrt, ein Sprung, den die Mondbewegung natürlich nicht mitmachen konnte; die Epakte mußte also um $10^d - 3^d = 7^d$ vermindert werden; in der That war sie zu Anfang jenes Jahres, das die Goldene Zahl 6 hatte[2], gleich 3 und sprang am 15. Oktober auf $30 + 3 - 7 = 26$.

Vor der Reform hat man offenbar nicht nur der unrichtigen julianischen Zählung zufolge, sondern auch wegen der unrichtigen alexandrinischen Epakte das Osterfest oft ganz der strengen nicänischen Vorschrift zuwider gefeiert.

Nachstehendes Täfelchen giebt die Säkularjahre an, in denen die Epakte der Sonnengleichung entsprechend um 1^d vermindert oder der Mondgleichung entsprechend um 1^d vermehrt werden muß.

1700 —	2500 —	3500 —	4200 —	5200 +
1900 —	2600 —	3600 +	4500 —	5300 —
2200 —	2900 —	3700 —	4700 —	5400 —
2300 —	3100 —	3800 —	5000 —	5700 —
2400 +	3400 —	4100 —	5100 —	5900 —

In den Jahren 1700, 1900, 2200 rc. greift nur die Sonnengleichung ein; in den vierfachen Säkularjahren 2400, 3600, 5200 rc. nur die Mondgleichung; die vierfachen Säkularjahre 1600, 2000, 2800 rc. haben keine von den beiden Gleichungen; in den übrigen Jahren heben die beiden Gleichungen einander auf. Hiernach kann man unsere Tafel beliebig weit fortsetzen.

---

[1] Eigentlich müßte am 0. März und nicht am 0. Januar die Umsetzung stattfinden.
[2] Da $1582 + 1 = 83 \times 19 + 6$ ist.

In ältern Kalendern[1] findet man neben jedem Tage noch eine Zahl unter der Rubrik C. E. (Cyclus Epacticus) angegeben. Diese Zahl beginnt Jan. 1. mit * (also 30) und vermindert sich dann beständig, so daß bei Jan. 30. die 1 steht; Jan. 31. hat wieder *, Febr. 1. hat 29 ꝛc. Sechs Tage im Jahre haben je zwei solcher Zahlen, so daß hier die Abnahme etwas schneller vor sich geht. Folgende Übersicht giebt sie mit den Nachbartagen an:

	C. E.		C. E.		C. E.
Febr. 4.	26	Juni 2.	26	Sept. 28.	26
„ 5.	25; 24	„ 3.	25; 24	„ 29.	25; 24
„ 6.	23	„ 4.	23	„ 30.	23
April 4.	26	Aug. 0.	26	Nov. 26.	26
„ 5.	25; 24	„ 1.	25; 24	„ 27.	25; 24
„ 6.	23	„ 2.	23	„ 28.	23.

Dadurch hält dieser Cyklus ziemlich gleichen Schritt mit der Lunation, die sich ja etwa in $29^d,5$ vollzieht; und die Tage, welche dieselbe Zahl wie die Jahres-Epakte haben, sind scheinbare Neumondstage. In unserem Täfelchen der Normaltage geben wir den C. E. für die Nulltage der einzelnen Monate an. Der Cyklus wird im Jahre zwölfmal durchlaufen, und es werden noch $5^d + 6^d = 11^d$ ausgewonnen, so daß, wie auch aus dem Frühern ersichtlich, im nächsten Jahre die Neumonde 11^d früher eintreffen. Da die Epaktenrechnung den Metonischen Cyklus auf das julianische Jahr bezieht und die noch nötige Verbesserung sprungweise anbringt, so nimmt der Cyklus auf die Schaltjahre keine Rücksicht; in diesen wird einfach die Epakte 6 des 24. Februar auch am 25. gesetzt, nach folgendem Schema:

Gemeinjahr.	C. E.	Schaltjahr.	C. E.
Febr. 23.	6	Febr. 23.	6
„ 24.	5	„ 24.	5
„ 25.	4	„ 25.	5
„ 26.	3	„ 26.	4
„ 27.	2	„ 27.	3
„ 28.	1	„ 28.	2
		„ 29.	1
März 1.	*	März 1.	*.

Nach den Epakten richtet sich in einfacher Weise der Ostervollmond. So hat 1898 die Epakte 7; d. h. es ist Jan. 1. der cyklisch berechnete scheinbare Neumond 7^d alt[2]. Unsere Übersicht (S. 130; siehe auch das Täfelchen hier oben) giebt nun für den 0. März C. E. = 1 oder 31, so daß März 31. — 7 = März 24. wieder die Epakte 7, d. h. im Jahre 1898 scheinbaren Neumond hat[2]. Hierzu fügt man 13^d, welches ziemlich genau der Unterschied zwischen den Zeiten des wahren Vollmondes und des scheinbaren Neumondes ist, und erhält April 6. für den Ostervollmond — der astronomischen Rechnung entsprechend.

* * *

[1] Z. B. im Heiligenkalender des Missale Romanum.

[2] Der letzte wahre Neumond ist nach astronomischer Vorausberechnung Dez. 23. $8^h\,49^m$ Berliner Zeit eingetreten; 1898, Jan. 1. ist also der Mond wirklich den Tag über nahezu 9^d alt. — Der wahre Märzneumond tritt ein März 21. $21^h\,31^m$ M. Z. Berlin, bürgerlich also für Europa am 22.; der wahre Ostervollmond April 6. $10^h\,13^m$.

Der ehrwürdige Cyklus, den man die Woche nennt, ist seit Jahrtausenden ohne Unterbrechung oder Verbesserung durchlaufen worden. Man kann von einem Tage, dessen Stellung in der julianischen Ära (siehe die Tafel S. 131) bekannt ist, die Stellung in der Woche sehr leicht durch Division mit 7 ermitteln. Der Rest 0 bedeutet Montag ☾, 1 bedeutet Dienstag ♂ u. s. w.[1], wie es die unterste Reihe in dem Täfelchen „Wochentag der Normaltage" (S. 130) lehrt. Will man z. B. wissen, an welchem Wochentage das Hagelwetter niedergegangen ist, das am 1. Juli 1891 einen großen Teil von Deutschland verwüstete, so setze man

1891, Jan. 0. = 2 411 733 (S. 128)
182^d eingetreten 182 (S. 129)
1891, Juli 1. = 2 411 915 ≡ 2 (mod. 7).

Die letzte Angabe (kongruent 2 modulo 7) bedeutet, daß beim Teilen mit 7 der Rest 2 herauskommt. Der Tag war also ein Mittwoch.

In ältern Kalendern[2] steht neben jedem Tage ein für alle Jahre unveränderlicher Buchstabe, der Sonntagsbuchstabe. Es haben Jan. 1., 8., 15., 22., 29.; Febr. 5., 12., 19., 26. ꝛc. den Buchstaben A; Jan. 2., 9., 16., 23., 30. ꝛc. haben b; Jan. 3., 10. ꝛc. haben c u. s. f. Alle mit demselben Buchstaben versehenen Tage des Gemeinjahres fallen auf denselben Wochentag. Für jedes Gemeinjahr gilt ein bestimmter Sonntagsbuchstabe, z. B. der Buchstabe b für 1898; alle mit diesem Buchstaben versehenen Tage des Jahres 1898 sind Sonntage. Anstatt dieses Cyklus geben wir (S. 130) eine abgekürzte Tafel der Normaltage, nämlich der Tage mit dem Sonntagsbuchstaben A. Für das Jahr 1898, das, wie bemerkt, den Sonntagsbuchstaben b hat (siehe auch unsern gregorianischen Kalender S. 128), folgt aus dem Täfelchen und der angefügten Übersicht, daß alle Normaltage Samstage (♄) sind; so auch April 2. und 9. Da wir nun vorhin den Ostervollmond dieses Jahres auf April 6. festgelegt haben, ergiebt sich ohne weiteres April 10. als Ostertag. Die Gaußische Osterformel (S. 126) faßt die Epakten- und die Sonntagsrechnung in geistvoller Weise zusammen.

Im Schaltjahr erhalten Febr. 24. und 25. denselben Buchstaben, wie sie auch dieselbe Epakte haben. Es wird also der weitere Verlauf nicht gestört; aber man muß zwei Sonntagsbuchstaben in diesem Jahre gebrauchen, die unser Kalender S. 128 denn auch angiebt. Der erste Buchstabe gilt bis Febr. 24. einschließlich, der zweite von Febr. 25. an bis zum Schlusse. — Zur Ableitung der Wochentage von ältern[3] und zukünftigen Daten kann der Sonnenzirkel einige Dienste leisten. Er beruht darauf, daß im julianischen Kalender nach $4 \cdot 7^a$ oder 28^a die Monatstage immer auf dieselben Wochentage fallen müssen, während sonst wegen der veränderlichen Stellung der Schaltjahre nach Umständen 5 oder 6 Jahre anzunehmen sind. So gelten die Wochentage von 1814 auch für 1842, 1870 und 1898. Im gregorianischen Kalender muß man aber die Säkularjahre beachten, wo gewöhnlich 1^d ausgelassen wird, d. h. die Monatstage den Wochentagen voreilen. Will man für eine weiter zurückliegende Zeit die Daten berechnen, so kann man vorher die bekannten Daten zu julianischen machen und sich so die Beachtung der Säkularjahre ersparen. Sucht man z. B. für den Tag der Schlacht bei Azincourt, 1415, Okt. 25., den Wochentag,

---

[1] Bezeichnung der Wochentage durch die Planetensymbole, vgl. S. 63.

[2] Z. B. im Missale Romanum.

[3] Meteoritenfälle und ähnliche auffallende Ereignisse findet man vielfach nach Wochentagen, auch wohl mit Beziehung auf den Osterfestkreis, mitgeteilt.

so rechne man etwa folgendermaßen: 1415 + 560 = 1975; 1975 − 56 = 1919; dieses Jahr hat also julianisch dieselben Wochentage wie 1415. Es ist nun im 20. Jahrhundert Okt. 25. julian. = Okt. 25. + 13 greg. = Nov. 7. greg. Das Jahr hat (vgl. S. 128) den Sonntagsbuchstaben e; Nov. 5. ist also ein Mittwoch (S. 130) und Nov. 7. ein Freitag, und ebenso der Tag jener Schlacht.

Nach einem julianischen Jahrhundert geht der Wochentag um eins zurück, da 36525 = 6 (mod. 7) ist. So hätte man auch rechnen können: 1915, Okt. 25. julian. = 1915, Nov. 7. greg., also ein Sonntag (S. 128 und 130). Für je 100 zurück einen Wochentag weiter, also 1415, Okt. 25. ein Freitag, wie oben. — Ist im Säkularjahr der Schalttag ausgelassen worden, wie gewöhnlich im gregorianischen Kalender, so springt nach einem Jahrhundert der Wochentag um 2 zurück. So ist 1913, Okt. 17. ein Freitag, also war 1813, Okt. 17. ein Sonntag.

Will man die Neumonde etwas genauer zurückberechnen, als die Epakten angeben, so kann man sich der julianischen Ära bedienen und die mittlere Länge der Lunation zu Grunde legen. Auf S. 128 bringen wir eine Tafel der Vielfachen der mittlern Lunation, wobei allerdings zu bemerken ist, daß der angenommene Wert genau nur für 1900 gilt. Die mittlere Lunationslänge nimmt im Jahrhundert um $0^d{,}000\,000\,307$ ab, und diese Abnahme ist eigentlich beim Rückwärtsrechnen in Betracht zu ziehen. Da es uns aber nur auf den Neumonds t a g ankommt, wird diese geringfügige Änderung hier vernachlässigt, ebenso die Abweichung des wahren Neumondes vom mittlern. Um nun den Gebrauch des Täfelchens in Verbindung mit den chronologischen Tafeln S. 129 und 131 zu lehren, nehmen wir ein einfaches Beispiel. Wallenstein wurde 1634, Febr. 25. ermordet. Welches Alter hatte der Mond an diesem Tage? Gegeben sei der wahre Neumond 1898, Juli 18., $8^h\,41^m$ M. Z. Berlin. Wir haben zunächst die Daten auf die julianische Ära zu beziehen, sie dann voneinander zu subtrahieren und von dem Reste die mittlere Lunationslänge so oft wie möglich wegzunehmen.

1801, Jan. 0. =	$2\,378\,861^d$
Für 98^a, Jan. 0.	35 429 [1]
Für Juli 18.	199
	2 414 489
	2 317 922
Unterschied	96 567
3000^l =	$88\,591^d{,}763$
	7 975,237
200^l =	5 906,118
	2 069,119
70^l =	2 067,141
	1,978
Am Neumonde fehlen noch	1,978
Alter des Mondes	27,553 (gültig für 1634, Febr. 25., $8^h\,41^m$ M. Z. Berlin).

1601, Jan. 0. n. St. [2] =	$2\,305\,813^d$	(S. 131)
Für 34^a, Jan. 0.	12 053	(S. 131)
Für Febr. 25.	56	(S. 129)
	2 317 922 = 5 (mod. 7).	

[1] Obgleich wir für diese Zeit die ausführlichere Tafel (S. 128) haben, führen wir doch dieses Beispiel nach dem allgemeinen Schema durch.

[2] Bei geschichtlichen Daten muß man wissen, ob sie julianisch oder gregorianisch gegeben sind. Eingeführt wurde der neue Kalender noch im Jahre 1582 in Frankreich, Lothringen, den Niederlanden, Spanien, Portugal, Dänemark, Riga, Böhmen, Neuenburg und einem Teil von Italien; 1583 in den vier Waldstätten; 1584 im

Der Tag war, wie wir bei dieser Gelegenheit auch finden, ein Samstag. Die weitere Rechnung links ist sofort verständlich. Man sieht, daß 1634, Febr. 25. der Mond höchstens als Morgensichel gesehen worden sein kann; wahrscheinlich ist das auch nicht, weil er südlicher stand als die Sonne. Es ist darum als poetische Willkür aufzufassen, wenn Schiller (Wallensteins Tod V, 3) seinen Helden kurz vor Mitternacht sagen läßt: „Die Mondessichel wankt." Ungefähr konnte man das Ergebnis auch mit Hilfe des Festkalenders ableiten. In jenem Jahre war die Goldene Zahl 1, die Epakte nach neuem Stil also gleichfalls 1, cyklische Neumonde Febr. 28. und März 30., der Ostervollmond April 12. Der Neumond Febr. 28. stimmt gut mit dem wirklichen, der auf den 27. fällt. Was die Wochentage angeht, so hat man dem Kalender zufolge 1898, April 12. = ♂; also 1698, April 12. = ♄, da im gregorianischen Kalender für ein volles Säkulum weiter der Wochentag um 2 zurückgeht; mit Hilfe des Sonnenzirkels 1642, April 12. = ♄, dann zwei Schaltjahre zurück, also 1634, April 12. = ☿, mithin April 16. Ostertag. Es ist ferner Febr. 25. bis April 16. = 50^d oder 7 Wochen und 1^d; das Ereignis fand in der Nacht vor dem Sonntag Esto mihi (Fastnacht) statt.

Vierzehntes Kapitel.

Die Achsendrehung der Erde.

Mehrfach schon haben wir uns die Frage vorgelegt, ob der tägliche scheinbare Himmelslauf Täuschung oder Wahrheit ist. Fassen wir die Thatsachen noch einmal kurz zusammen. Es scheint, als werde der Fixsternhimmel mit sehr gleichmäßiger Schnelligkeit um eine Achse gedreht. Bei der unermeßlichen Entfernung der Fixsterne, die unabhängig von jeder Hypothese feststeht, können wir diese Weltachse an jedem Punkte der Erde gezogen denken; am natürlichsten ist es aber, wir führen sie durch den Mittelpunkt der Erde; das Stück, welches der Erdkugel selbst angehört, nennen wir dann Erdachse. Die Gradmessungen haben gezeigt, daß die Erde ein abgeplattetes Sphäroid ist, wie es durch Umdrehung einer Ellipse um ihre kleinere Achse entsteht, und daß diese Achse eben die vorhin auf andere Art bestimmte Erdachse ist.

Nun ist es, wie wir auch früher schon betont haben, geometrisch durchaus gleichgültig, ob wir eine Drehung des Himmels um die Weltachse annehmen, die in 24^h Sternzeit oder $23^h\ 56^m\ 4^s$ mittlerer Zeit vollendet wird, oder eine Drehung der Erde um die Erdachse; jener Himmelslauf hätte, so wie wir ihn sehen, im Sinne des Zeigers einer auf den irdischen Nordpol gelegten Uhr zu verlaufen, die wahre Erdrotation im umgekehrten Sinne.

---

katholischen Deutschland; 1587 in Ungarn; 1778 endgültig im protestantischen Deutschland. Das Nähere siehe bei R. Wolf a. a. O. — Das im Text erwähnte Ereignis geschah 1634 in Böhmen, also bereits unter der neuen Ordnung.

Während nun die Geometrie den beiden Hypothesen gleichgültig gegenübersteht, hat die Physik sofort eine ganze Reihe von Bedenken gegen die Wirklichkeit des täglichen Himmelslaufes. Sonne und Mond sollen diesen mitmachen, dabei aber noch ihre eigenen, gegen die Weltachse schiefen Bewegungen mit wechselnder Geschwindigkeit ausführen. Man müßte schon, um das zu ermöglichen, die Sonne an einer krystallenen, d. h. absolut durchsichtigen, dabei aber den Lichtstrahl nicht brechenden innern Sphäre anbringen, mit der sie sich in einem Jahre drehte, und diese Sphäre hätte man noch mit der Hauptsphäre der Fixsterne schief zu verbinden. Einer zweiten innern Sphäre bedürfte man für den Umlauf des Mondes und fünf weiterer für die Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, die schon dem Altertum bekannt waren. Da man aber neuerdings mit dem Fernrohr und der photographischen Camera über 400 dem freien Auge unsichtbare Planeten entdeckt hat, die alle ihre besondern, zum Teil höchst verwickelten Bewegungen ausführen, ohne sich von der Beteiligung an dem täglichen scheinbaren Himmelslaufe auszuschließen, so erhielte man ein fast unglaubliches System von Sphären und Bewegungen. Das wird sich besonders zeigen, wenn wir die Bewegungen der Planeten genauer betrachten; mit Absicht wird diese Betrachtung aufgeschoben, weil sie vorher durch die endgültige Annahme der Erdrotation erleichtert werden soll.

Ferner haben wir zu bedenken, und auch darauf ist schon früher hingedeutet worden, daß dem unermeßlichen Abstande der Fixsterne auch eine unermeßliche Schnelligkeit des Umlaufes entsprechen müßte, während wir unter der Annahme der Erdrotation doch den Punkten, die am schnellsten gedreht werden, nämlich denen des Äquators, immer nur eine Schnelligkeit von etwa 460 m zu geben hätten, die von manchen Geschützkugeln merklich übertroffen wird.

Die Einwendungen, die man gegen die Achsendrehung der Erde gemacht hat, beruhten hauptsächlich auf einer Verkennung des Trägheitsgesetzes. Dieses Gesetz, eines der wichtigsten in der Mechanik, sagt aus, daß kein Körper seinen Bewegungszustand, d. h. die Richtung oder Schnelligkeit seiner Bewegung, oder beide, aus innerem Grunde ändern kann. Es bedarf dazu stets des Hinzutretens einer äußern Kraft, die in den verschiedensten Formen, auch als Hemmung, auftreten kann. Noch Galilei, der die Bewegungen der Erde mit Geschick gegen die Einwände des sogen. gesunden Menschenverstandes zu verteidigen wußte, hat dieses Gesetz nicht scharf ausgesprochen; es liegt aber seinen Gedanken überall zu Grunde, so wenn er hervorhebt, daß man auf einem schnell segelnden Schiffe schreiben und zeichnen könne, ohne daß die feinen Handbewegungen durch den rasend schnellen Lauf des Fahrzeuges gestört würden. Die neueste Zeit hat uns in den Dampfschiffen und in den vorzüglich federnden Wagen unserer D-Züge noch weit vollkommenere Beispiele geliefert. Die mannigfaltigen Bewegungen, die in einem solchen Zuge ausgeführt werden, so das Anrichten, Auftragen und Verzehren

der Speisen und Getränke, geschehen einfach so, als ob die schnelle Bewegung von 20 m und mehr in der Sekunde gar nicht vorhanden wäre. Keine der vorkommenden Störungen führen wir auf diese Bewegung an sich zurück, sondern für alle wissen wir äußere Gründe zu finden. Das Auf- und Abhüpfen der Gegenstände lehrt uns, daß die Schienenstöße doch nicht ganz ausgeglichen sind; fühlen wir uns in die Ecke gedrückt, so wissen wir, daß der Zug seine Richtung ändern muß, weil sich die Bahn krümmt; wird er plötzlich gebremst, so eilt unser Körper für einen Augenblick noch mit der alten Geschwindigkeit weiter, die nur gewaltsam vernichtet werden kann. Ein aus dem Fenster geworfenes Geldstück befindet sich, wenn es das Trittbrett berührt, fast genau senkrecht unter dem Ausgangspunkte, es ist also in horizontalem Sinne mit der alten Geschwindigkeit weitergelaufen, bis auf eine kleine Verminderung durch den Luftwiderstand; ein Holzstück scheint noch etwas mehr zurückzuweichen, ein Blatt Papier ganz erheblich. Aber ein außen stehender Beobachter sieht auch diese Gegenstände noch vorwärts gehen, und er nimmt mit uns an, daß das Papier bei seiner größern Oberfläche und geringern Masse von der Luft stärker aufgehalten wird als das Metallstück. Noch stärker wird der Dampf aufgehalten, der dem Schornstein der Lokomotive entsteigt.

Ein Kegelball kommt auf einer gewöhnlichen Holzbahn bald zur Ruhe; eine polierte Bahn für einen polierten Ball könnten wir schon viel länger machen, und auf dem Billard müssen wir sogar das stark reibende Zeug anbringen, um den glatten Ball in absehbarer Zeit zur Ruhe zu bringen. Wenn eine Billardkugel über das Eis geworfen wird und auch hier nach langem Laufe zur Ruhe kommt, so nehmen wir von vornherein an, daß jede Verminderung ihrer Schnelligkeit durch einen äußern Widerstand erfolgt sein muß, daß sich die ihr mitgeteilte Kraft keineswegs in sich selbst erschöpft haben kann, vielmehr in äußern, für uns zum größten Teil unsichtbaren Wirkungen sich bethätigt haben muß, z. B. im Abschleifen geringerer Rauhigkeiten des Eises. Und für ein Abirren der Kugel vom geraden Wege verlangen wir erst recht eine äußere Ursache.

Wie das Trägheitsgesetz eine notwendige Grundanschauung zu sein scheint, so zeigt auch die Anwendung auf die verschiedensten Aufgaben der Physik beständig seine Gültigkeit.

Bei der Rotation einer starren Kugel um ihre Achse wird zwar die Laufrichtung der einzelnen Teile stetig geändert, da sie Kreise und nicht gerade Linien beschreiben. Man kann aber für die stetige Änderung auch eine stetig wirkende Ursache angeben, nämlich den starren Zusammenhang der einzelnen Teile.

Um nun den Beweisen für die Achsendrehung der Erde näher zu treten, die am Ende alle darauf beruhen, daß ein mit der Erdkugel nicht starr verbundener Körper in höherem Grade als die Teile der Kugel selber das

Trägheitsgesetz verrät, machen wir von einer alltäglichen Erfahrung Gebrauch. Jeder, der häufiger mit der Eisenbahn gefahren ist und größere Stationen berührt hat, weiß, wie schwer es manchmal ist, zu entscheiden, ob der Zug, worin man sitzt, in Bewegung ist oder ein anderer, der an uns vorbeizufahren scheint. Das Auge muß ja bei der einen Annahme dieselbe Reihe von Eindrücken bekommen wie bei der andern. Den Beginn der Bewegung des eigenen Zuges haben wir vielleicht nicht beobachtet, weil er sich ganz allmählich vollzog; die Aussicht auf das Empfangsgebäude wird uns durch den andern Zug weggenommen, und die Erschütterungen können nach beiden Annahmen ziemlich gleich gut gedeutet werden. Denken wir weg, was an diesem Vergleich noch unvollkommen ist; nehmen wir an, wir befänden uns im leeren, unendlichen Raume, der keine Sterne zur Orientierung hätte, und wir sähen einen andern Körper mit gleichmäßiger Geschwindigkeit in gerader Linie an uns vorbeisausen: wer vermag zu sagen, ob wir uns bewegen oder der andere Körper, oder beide?

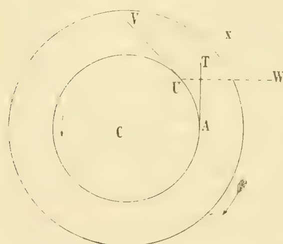


Fig. 42. Wahre und scheinbare Achsendrehung.

Anders, wenn wir gekrümmte Bahnen annehmen, wie das Fig. 42 zeigt. Den innern Kreis möge ein geschlossener Eisenbahnzug einnehmen, dessen erster Wagen mit dem letzten zusammengekuppelt ist; ein ähnlicher, aber größerer Zug erfülle den äußern Kreis. Wir sitzen auf dem innern Zuge und können außer diesem selbst und dem andern Zuge keinen Gegenstand sehen. Sollen wir, wenn sich dieser für unser Auge im Sinne des Uhrzeigers zu drehen scheint, die Bewegung als wirklich ansehen, oder sollen wir dem innern Zuge einen Umlauf gegen den Zeiger zuschreiben? Von wahrnehmbaren Erschütterungen sei abgesehen; überhaupt können wir, um den Vergleich zutreffender zu machen, das Bild wieder in den freien Weltraum verlegen. Rein geometrisch sind wieder, wie bei dem vorigen Vergleiche, beide Annahmen brauchbar; aber die Physik spricht jetzt ein anderes Wort. Sie sagt uns, daß eine etwaige Kreisbewegung des innern Zuges durch Eigenbewegungen der mit ihm nicht starr verbundenen Gegenstände zu Tage treten muß. Ein Fahrgast an der äußern Seite des innern Zuges wird sich beständig in die Ecke gedrückt fühlen, weil er, wenn er sich z. B. in A befindet, augenblicklich eine Fahrrichtung hat, die durch die Tangente AT angegeben wird. Dieselbe Fahrrichtung hat auch der Wagen, worin er sitzt; für diesen aber wird im nächsten Augenblicke die Richtung geändert durch die starre Verbindung der Radkränze mit den Schienen, während der Körper des Fahrgastes in der alten Richtung weiterzulaufen sucht. Jene Verbindung

können wir als fremde Kraft auffassen, die beständig den Zug dem Centrum C zu nähern sucht; sie wird darum die Centripetalkraft[1] genannt, während die Trägheit, soweit sie sich als Gegenwirkung gegen diese Kraft, als Druck gegen die Kurve äußert, den Namen der Centrifugalkraft[2] führt. Diese Kraft läßt sich messen und berechnen; sie äußert sich nur auf dem Krümmungsradius CA. Ihr mathematischer Ausdruck ist $\frac{mv^2}{r}$, wenn m die Masse des im Kreise bewegten Körpers, v seine Geschwindigkeit und r der Radius der Krümmung ist.

Ist nämlich (Fig. 43, wo die Kreisbewegung mit dem Uhrzeiger verläuft) der Körper augenblicklich in a, so würde ihn in einem sehr kleinen Zeitabschnitte die längs der Tangente wirkende Trägheit nach b treiben, der Widerstand der Kurve bringt es aber fertig, daß er statt dessen nach c geht. Das sehr kleine Wegstück ac als geradlinig annehmend, fassen wir es auf als Diagonale eines Parallelogramms von Kräften. Die eine Teilkraft ab nennen wir die Geschwindigkeit v, dann ist die andere ae die Verschiebung durch die Centrifugalkraft x. Die Größe x ist die Beschleunigung, welche diese Kraft in der kleinen Zeiteinheit bewirkt; es ist dann, auf Grund einer ähnlichen Ableitung wie bei den Fallgesetzen, $ae = \frac{1}{2}x$. Denkt man sich ferner c mit dem Endpunkt des in a beginnenden Durchmessers verbunden, so entsteht bei c ein rechter Winkel; man erhält darum nach einem bekannten Satze $(ac)^2 = ae \cdot 2r$, wenn r der Halbmesser ist;

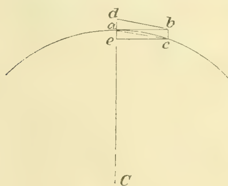


Fig. 43.
Konstruktion der Centrifugalkraft.

da[3] $(ac)^2 = v^2$ und $ae = \frac{1}{2}x$, so wird $v^2 = rx$; $x = \frac{v^2}{r}$. Die Centrifugalkraft ist hier als sogen. beschleunigende Kraft gedacht worden, d. h. als Geschwindigkeitszuwachs in der Zeiteinheit. Um sie als bewegende Kraft zu erhalten, müssen wir sie noch mit der Masse m multiplizieren. Wir erhalten dann den vorhin mitgeteilten Ausdruck, durch den nicht nur die Centripetalkraft, sondern auch die ihr entgegengesetzt gleiche Centrifugalkraft gemessen wird. Einen andern Ausdruck erhalten wir, wenn wir v durch seinen Wert ersetzen. Läuft der Körper in T Zeiteinheiten durch den ganzen Kreis, dessen Länge $2\pi r$ beträgt, so ist offenbar v, oder der Weg in einer Zeiteinheit, gleich $\frac{2\pi r}{T}$; dann wird $\frac{mv^2}{r} = \frac{4m\pi^2 r}{T^2}$. — Daß sich die Centrifugalkraft auch durch Beobachtung messen läßt, ergiebt eine einfache Überlegung. Es werde eine horizontale hölzerne Rinne von dem innern Zuge nach einer im

[1] Von petere, erstreben. [2] Von fugere, fliehen.

[3] Man darf die Zeiteinheit beliebig klein nehmen; bc nimmt dabei viel schneller ab als ab, und so darf mit beliebiger Genauigkeit ac = ab = v gesetzt werden.

*

Centrum stehenden Achse geführt, um die sie mit dem Zuge beständig kreisen muß. Eine Drahtspirale ist mit ihrem einen Ende mittels eines Ringes an der Achse befestigt; sie liegt in der Rinne, und ihr anderes Ende, das dem Zuge nahe ist, trägt einen schweren Körper. Während der Zug läuft, bethätigt sich die Centrifugalkraft dieses Körpers durch eine beständig anhaltende Verlängerung der Spiralfeder. Wir könnten diese Verlängerung auch anders erreichen, etwa indem wir die Feder an einem Gerüste aufhängten und an ihrem andern Ende ein Gewicht anbrächten. Man sieht daraus, daß die Centrifugalkraft als konstante Kraft wirkt, genau wie ein Gewicht.

Wenden wir diese Überlegungen auf die Erdkugel an. Der Halbkreis in Fig. 44 stelle einen meridionalen Durchschnitt dar; er wird sich, wenn die Erde wirklich rotiert, beständig um seinen Durchmesser drehen. Der Punkt A des Äquators erleidet hierbei die Centrifugalkraft K_1, die geradeswegs der Schwere entgegenwirkt. In dem Ausdrucke $\frac{4\,m\,\pi^2\,r}{T^2}$ haben wir nun $r = 6\,377\,397$ und $T = 86\,164{,}1$ zu setzen[1], um die Kraft auf Meter und Sekunden zu beziehen. Die Rechnung gestaltet sich dann so:

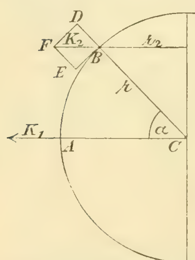


Fig. 44. Centrifugalkraft auf der Erdkugel.

$$\log 2\pi = 0{,}79818$$
$$\log T = 4{,}93533$$
$$\log \frac{2\pi}{T} = 5{,}86285 - 10$$
$$\log \frac{4\pi^2}{T^2} = 1{,}72570 - 10$$
$$\log r = 6{,}80464$$
$$\log 0{,}0339 = 8{,}53034 - 10.$$

Setzen wir $m = 1$, so erhalten wir $K_1 = 0{,}0339$. Nun erteilt die Schwere einem Körper in jeder Sekunde einen Antrieb von $g = 9{,}8$ m senkrecht gegen die Horizontalebene. Unser Ausdruck für K_1 zeigt, daß von diesem Antriebe die im entgegengesetzten Sinne wirkende Centrifugalkraft abzuziehen ist, und zwar für alle Massen in derselben Weise, da, wenn z. B. die Masse 10 m in Betracht kommt, hier die Centrifugalkraft und auch die Schwere zehnmal stärker wirkt, aber auch das Zehnfache zu leisten hat.

Für andere Parallelkreise erleidet die Zahl eine Änderung. Der Punkt B (Fig. 44) in der geocentrischen Breite α beschreibt einen Kreis mit dem Radius r_2, der kleiner als der Halbmesser des Äquators ist. Man hat dann offenbar $r_2 = r \cdot \cos\alpha$; und da die Formel $x = \frac{4\,\pi^2\,r}{T^2}$ die Proportionalität der Centrifugalkraft mit dem Radius lehrt, so ergiebt sich, daß

[1] Die für T angegebene Zahl ist der genaue Wert des Sterntages, d. h. der Rotationszeit der Erd- oder Himmelskugel in mittlern Zeitsekunden. Daß der Buchstabe m hier nicht Meter bedeutet, braucht wohl nicht gesagt zu werden.

diese Kraft in der Breite α geringer ist als am Äquator; es ist $K_2 = K_1 \cdot \cos\alpha$. Und diese Kraft wirkt auch nicht mehr so wie am Äquator. K_2 liegt ja in der Ebene des von r_2 beschriebenen Kreises, während der Radius CB, der uns die Richtung der Schwere angiebt, bei der Rotation einen Kegel beschreibt. Wir können in jedem Augenblicke $K_2 = BF$ in zwei Teilkräfte zerlegen; die eine wirkt nach BE, sie treibt den Körper zum Äquator; die andere Teilkraft BD vermindert die Schwere, und ihr Wert ist $K_2 \cdot \cos\alpha$, da, wie man sofort sieht, $\measuredangle\, DBF = \alpha$ ist. Im ganzen wird also, da $K_2 \cdot \cos\alpha = K_1 \cdot \cos^2\alpha$ ist, die Schwere in der Breite α nur um diesen Betrag vermindert; in der Breite von 60^0 z. B., wo $\cos\alpha = \frac{1}{2}$ ist, beträgt die Verminderung nur den vierten Teil von der am Äquator bestehenden. Für den Nordpol erhalten wir gar keine Verminderung, wie auch an sich klar ist. Ist hier die Schwere $= g_{90}$, so ist in der Breite α die Schwere $g_\alpha = g_{90} - K_1 \cdot \cos^2\alpha$; am Äquator ist $g_0 = g_{90} - K_1$. Wir können g_α auch durch g_0 ausdrücken; es ist

$$g_\alpha = g_{90} - K_1 \cdot \cos^2\alpha = g_{90} - K_1 + K_1\,(1 - \cos^2\alpha)$$
$$= g_0 + K_1 \sin^2\alpha.$$

Übrigens muß dieser Ausdruck eine kleine Änderung erfahren, da außer der angenommenen Rotation noch eine andere Ursache die Schwere am Äquator vermindert. Die physikalische Theorie der Schwerkraft[1] zeigt, daß auf der abgeplatteten Erde die Schwere vom Äquator nach den Polen zunehmen muß, während sie auf einer aus homogenen Schichten zusammengesetzten Kugel konstant sein würde. Rechnet man beide Ursachen zusammen, so ergiebt sich der Ausdruck:

$$g_\alpha = g_0 + (g_{90} - g_0)\sin^2\alpha = g_0\cos^2\alpha + g_{90}\sin^2\alpha.$$

Diesem Ausdruck gemäß muß sich also die Schwere von Parallelkreis zu Parallelkreis ändern. Die Konstanten g_0 und g_{90} sind durch Beobachtung zu ermitteln; direkt allerdings nur g_0, da uns die Pole nicht zugänglich sind. Aber die Messungen in andern Breiten ergeben ja Gleichungen für g_0 und g_{90}. Hat man diese Konstanten (sie sind gleich 9,78 und 9,83), so läßt sich sogar die Abplattung daraus berechnen; grundsätzlich ist das ja leicht einzusehen, da eben eine stärkere Abplattung die Größe der Centrifugalkraft noch steigern wird, während sie die Schwere vermindert. Die Schweremessungen ergeben auf diesem Wege einen Abplattungswert, welcher gut mit dem aus direkten Messungen (vgl. Kap. 7) gefundenen übereinstimmt. Das ist ein wichtiger Beweis für die Richtigkeit der physikalischen Lehren von

[1] Wir werden diese Theorie hier nicht entwickeln, bemerken aber der Strenge halber, daß sie von allen astronomischen Hypothesen unabhängig besteht, weil sie durch die physikalischen Versuche mit der Drehwage und dem Horizontalpendel als richtig dargethan worden ist. Später werden wir darauf zurückkommen.

der Schwerkraft und der Centrifugalkraft und natürlich auch für die Achsendrehung der Erde, da die Abplattung für sich viel geringere Verminderungen nach dem Äquator zu bewirken würde.

Das Werkzeug, womit die Größe g, also die Beschleunigung der fallenden Körper durch die Schwere, gemessen werden kann, ist das Pendel. Dieses wichtige Instrument besteht aus einem schweren Körper, der an einer um eine horizontale Achse drehbaren Stange befestigt ist und mit dieser aus der Gleichgewichtslage gebracht werden kann. Die Schwerkraft führt ihn dahin zurück, aber die Trägheit bringt ihn immer wieder auf der entgegengesetzten Seite zu der alten Höhe zurück, so daß er, von Reibung und Luftwiderstand abgesehen, unaufhörlich weiter schwingen muß. Für die Dauer t einer Pendelschwingung leitet die theoretische Mechanik folgenden Ausdruck ab:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4\frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \sin^6\frac{\alpha}{2} \ldots\right].$$

Hier haben π und g die frühere Bedeutung; l ist die Pendellänge in Metern; t wird in Sekunden ausgedrückt; α ist der Ausschlagswinkel, d. h. der Winkel zwischen der Ruhelage und einer der Umkehrlagen; der ganze bei einer Schwingung beschriebene Winkel ist also 2α. Der angegebene Ausdruck gilt für das mathematische Pendel, d. h. für einen Massenpunkt, der sich an einer gewichtslosen Pendelstange befindet. Die Praxis rechnet mit dem physischen Pendel, das sich einzig und allein herstellen läßt; die Lehre von den sogen. Trägheitsmomenten giebt ihr ein Mittel, für jedes wirkliche Pendel ein mathematisches anzugeben, dessen Schwingungszeit der seinigen gleich ist.

Für kleine Ausschlagswinkel ist schon das zweite Glied in den [ ] sehr klein; so ist, wenn $\alpha = 10^0$, $\sin\frac{\alpha}{2} = \sin 5^0 < \frac{7}{80}$; $\sin^2 5^0 < \frac{49}{6400} < \frac{1}{128}$; also $\left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} > \frac{1}{500}$. Wird aber der Ausschlagswinkel selbst gleich 5^0, so wird das zweite Glied schon viel kleiner als $\frac{1}{2000}$; die folgenden Glieder werden schon in dem ersten Falle so klein, daß sie immer zu vernachlässigen sind. Kann man das zweite Glied streichen, so erhält man die sehr einfachen Ausdrücke:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}; \; t^2 = \frac{\pi^2 l}{g}; \; l = \frac{g\, t^2}{\pi^2}.$$

Die letzte Gleichung[1] lehrt uns die Pendellänge bei gegebener Schwingungszeit finden. Setzen wir hier noch t = 1, so ergiebt sich für die Länge des Sekundenpendels, das also in einer Sekunde eine Schwingung ausführt, die Gleichung: $l = \frac{g}{\pi^2}$.

[1] Daß diese Gleichungen von dem Ausschlagswinkel unabhängig sind, ist von Wichtigkeit für die später zu besprechende Anwendung des Pendels in der Uhr.

Hieraus ersieht man leicht, daß das Sekundenpendel etwa 1 m lang ist, da sowohl der Zähler als auch der Nenner des Bruches nur wenig kleiner als 10 ist. Die mittlere Länge des Sekundenpendels ist in der That nur um wenige mm kleiner als 1 m. Ein Gegenstand von 1 m Länge, z. B. ein am Ende beschwertes Bandmaß, giebt schon ein ziemlich gutes Sekundenpendel ab; mit Hilfe desselben kann man sich leicht daran gewöhnen, im Takte der mittlern Zeitsekunde zu zählen, wodurch man den Wert vieler Beobachtungen, z. B. über Erdbeben, Blitze und Sternschnuppen, wesentlich erhöhen kann. — Ferner zeigt die Gleichung, daß das Sekundenpendel ein Maß der Schwerkraft ist.

Im Jahre 1672 ging der Astronom Richer im Auftrage der Pariser Akademie nach Cayenne, um dort Marsbeobachtungen anzustellen, die in Verbindung mit den gleichzeitigen Beobachtungen seiner Pariser Kollegen einen Anhalt für die Parallaxe des Planeten ergeben sollten und auch wirklich ergeben haben. Er fand zu seinem Ärger, daß die mitgenommene Pendeluhr, die in Paris vorher genau reguliert worden war, in Cayenne täglich 148^s verlor, so daß er zu einer Verkürzung des Pendels genötigt war. Nach seiner Rückkehr gewann die Uhr in Paris täglich genau denselben Sekundenbetrag, so daß das Pendel nun genau wieder auf das alte Maß verlängert werden mußte. Diese unbeabsichtigte Wahrnehmung wurde von Newton sofort als eine notwendige Folge der Erdrotation und zugleich als ein bündiger Beweis dafür angesehen. Sie ist später durch zahlreiche Pendelbeobachtungen an den verschiedensten Orten bestätigt worden. In der Verminderung der Schwere durch die Centrifugalkraft, die genau den angegebenen Formeln folgt, haben wir also den ersten gesuchten Beweis wirklich gefunden.

* * *

Bei der Ableitung der Größe der irdischen Centrifugalkraft tritt eine Kraftkomponente BE (Fig. 44, S. 142) auf, die den Körper äquatorwärts zu führen sucht. Ihre Größe ist $K_2 \cdot \sin \alpha = K_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = {}^1/_2\, K_1 \cdot \sin 2\alpha$. Denkt man sich die Erde als einen flüssigen, leicht veränderlichen Körper, so zeigt sich, daß diese Kraftkomponente zu einer allmählichen Abplattung führen muß. Die mechanische Theorie der Schwere und der Centrifugalkraft leitet genauer die Form ab, welche der rotierende Körper annehmen muß. War er anfangs vollkommen sphärisch, so mußte er durch die Rotation sphäroidisch werden, mit elliptischem Meridiandurchschnitt, dessen Excentricität von der Schnelligkeit der Rotation abhängt. Die Kugelgestalt an sich nimmt ein frei schwebender flüssiger Körper schon infolge der gegenseitigen Wirkungen seiner Teile an. So wird z. B. der Bleischrot in Tropfenform gewonnen; die Tropfen fallen von einem hohen Gerüste in einen Wasserbehälter, und die nach der Abkühlung beibehaltene Kugelform ist ein sprechender Beweis

für jenes Gesetz. Der belgische Physiker Plateau brachte in eine Mischung von Weingeist und Wasser, die genau das specifische Gewicht eines Öles hatte, mit Hilfe einer drehbaren Achse einen Öltropfen, der wegen der Gleichheit des Volumgewichtes weder stieg noch niedersank, vielmehr dem Einflusse der Schwere gewissermaßen entzogen an der Einführungsstelle verharrte (s. Fig. 45 und 46). Der Tropfen nahm genau die Kugelgestalt an, wie sie Fig. 46, A zeigt; durch Rotation der Achse plattete er sich ab (B), und durch einen Kunstgriff konnte bei sehr schneller Rotation sogar die Abschnürung eines Ringes (C) gezeigt werden. Daß auch feste Körper der Abplattung unterliegen, zeigt die in Fig. 47 dargestellte Vorrichtung. Mehrere Messingreifen sind unten an einer Achse befestigt, die oben lose durch sie hindurchgeht. Sobald man die Achse dreht, gehen sie aus der (durch eine punktierte Kreislinie dargestellten) ursprünglichen Form in die sphäroidische über.

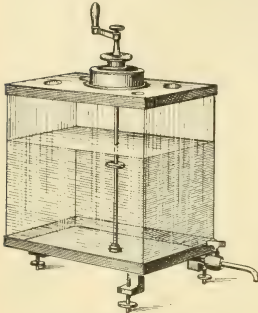


Fig. 45. Plateaus Vorrichtung.

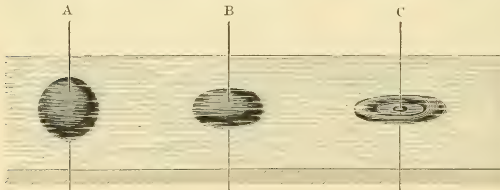


Fig. 46. Abplattung eines rotierenden Öltropfens.

Man darf nun die Abplattung der Erde als eine Art von Beweis für ihre Rotation ansehen; es ist ja kein strenger Beweis wie der mit Hilfe der Centrifugalkraft geführte, da man am Ende auch irgend eine andere unbekannte Ursache für die Abplattung annehmen könnte. Diese Ursache müßte freilich ganz im Dunkeln bleiben. Nun erlangt der Beweis eine viel größere Kraft durch die Heranziehung anderer Himmelskörper. Daß wir an dem Monde keine Abplattung wahrnehmen, ist leicht zu erklären: diese Kugel ist viel kleiner als die Erdkugel, und sie braucht dennoch mehr

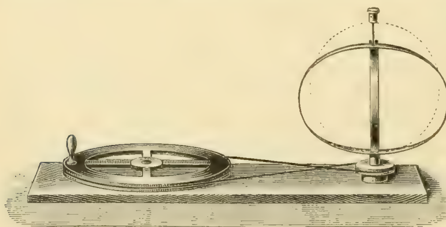


Fig. 47. Abplattung eines Gestelles aus Messingreifen.

als 27mal so viel Zeit zu ihrer Rotation. Die Rotationszeit der Sonne hat ungefähr dieselbe Größe wie die des Mondes, und auch hier finden wir keine Abplattung. Die Planeten Jupiter und Saturn dagegen sind sehr stark abgeplattete Kugeln, wie der erste Blick durch ein gutes Fernrohr lehrt [1]. Kennen wir auch noch nicht die Entfernung dieser Himmelskörper, so dürfen wir doch aus ihrer höchst geringen Parallaxe auf eine sehr bedeutende Größe schließen. Nun sind die Rotationszeiten dieser Planeten viel geringer als die der Erde, nämlich bei ♃ etwas kürzer, bei ♄ etwas länger als 10^h. Wir dürfen also diese abgeplatteten Himmelskörper als Beweise für unsere Ansicht betrachten, daß die Abplattung eine Folge der Rotation ist.

* * *

Noch auf andere Art können wir auf der Erdkugel den Gegensatz zwischen der Trägheit der Bewegung und der Starre des Zusammenhanges wahrnehmen, welcher von der Rotation beständig hervorgerufen wird. Man denke sich ein Oberflächenteilchen, das sich von der Erde erhebt, in die Luft aufsteigt und vom Äquator zum Nordpol wandert, z. B. ein Luft- oder Wasserdampfteilchen. Infolge seines frühern Aufenthaltes hat dieses Teilchen das Bestreben, mit einer Geschwindigkeit von 460 m nach Osten zu wandern. In den Gegenden, wohin es kommt, braucht es aber diese große Geschwindigkeit nicht mehr; in 45° Breite z. B. nur 0,7 davon, also etwa 320 m. Nach dem Trägheitsgesetze eilt es vor, d. h. es scheint für den nördlichen Beobachter nicht aus Süden, sondern aus Südwesten zu kommen. Umgekehrt wird ein Teilchen, das aus mittlern Breiten zum Äquator wandert, hier mit der Rotation keinen Schritt halten können; es bleibt zurück, geht zu langsam nach Osten, d. h. es scheint nach Westen abzuirren, oder anders ausgedrückt, nicht aus Norden, sondern aus Nordosten zu kommen. Man bemerkt, daß beide Luftteilchen von ihren Bahnen nach rechts abgelenkt worden sind, wenn man mit den Teilchen eine gedachte menschliche Figur wandern läßt. Nun sollte man meinen, ein Luftteilchen, das nach Osten wandert, erlitte keine Ablenkung; dem ist aber nicht so. Man denke sich eine Kanone von großer Schußweite im ersten Vertikal (vgl. S. 48) aufgestellt, so daß also ihre horizontale Projektion auf dem Meridian senkrecht steht und darum mit der Ostwestlinie der Windrose zusammenfällt. Von der Abplattung, die hier wenig ausmacht, absehend, finden wir, daß diese Vertikalebene durch das Centrum der Erde geht. Sie schneidet aus der Erdkugel einen Hauptkreis, der den Parallel des Ortes allerdings berührt, aber schon bald merklich davon abweicht [2]. Wenn eine aus der Kanone

---

[1] Siehe die Kap. 28 u. 29 sowie die zugehörigen Abbildungen und das Titelbild.

[2] Hat der Ort die geographische Länge λ, so sind $\lambda - 90°$ und $\lambda - 90°$ die Längen der Durchschnittspunkte des Hauptkreises mit dem Äquator.

geschossene Kugel wieder zu Boden fällt, trifft sie den Hauptkreis ihrer ursprünglichen Richtung, und nicht den Parallel ihres Ausgangspunktes. Und so zeigt sich, daß auch ein nach Osten gehendes Teilchen nach rechts abirrt. Für die entgegengesetzte Bewegung ergiebt sich ein Abirren nach links. Dieses Abirren ist eigentlich nur ein anderer Ausdruck für die Centrifugalkomponente, die zum Äquator hintreibt.

Die Ablenkung auf dem Wege nach Süden oder Norden ist sehr bedeutend. Ein Luftteilchen bewege sich in der Breite von 45^0 mit einer Geschwindigkeit von 31 m südwärts. Das ist etwa eine Bogensekunde des Meridians. Um wieviel langsamer geht auf dem südlichern Parallel die Rotation vor sich? Sie beträgt dort $460 \text{ m} \cdot \cos 45^0\, 0'\, 0''$, hier $460 \text{ m} \cos 44^0\, 59'\, 59''$. Differenz[1] $460 \text{ m} (\cos 45^0 - \cos 44^0\, 59'\, 59'')$ $= -2 \cdot 460 \text{ m} \cdot \sin 45^0 \sin \cdot \frac{1''}{2}$, etwa $= 920 \text{ m} \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}00000242$ $= 920 \text{ m} \cdot 0{,}0000017 = 0{,}00156 \text{ m}$.

Das ist etwa der 640. Teil eines Meters; eine solche Ablenkung nach rechts erfährt das Teilchen aber in jeder Sekunde, sie beträgt also nach 10^m schon 1 m. Wir erkennen, daß sich die Bahn sehr rasch nach rechts krümmen wird, solange nur eine irgend erhebliche Verschiebung nach Süden stattfindet.

Auf der südlichen Halbkugel müssen dagegen alle Luftteilchen nach der linken Hand abirren[2], da sich hier die Richtungen umkehren. Die reine ostwestliche Bewegung ist, wie das Beispiel von der Kanone zeigt, überhaupt nicht haltbar, wenn sich ein Teilchen von der Erdkugel erhoben hat; immer bekommt man eine, wenn auch kleine, Bewegungsgröße nach Norden oder Süden und damit eine Ablenkung.

Diese Ablenkungen werden nun thatsächlich wahrgenommen. Die Theorie der Wirbelstürme, Passat- und Monsunwinde und auch der barometrischen Maxima und Minima, die in Mitteleuropa vorzugsweise den Gang des Wetters bestimmen, weiterhin die Theorie der von den herrschenden Winden hervorgerufenen Meeresströmungen — alles bestätigt uns die Thatsache der Achsendrehung der Erdkugel. Auf die übrigen Beweise aus der physischen Geographie und der Technik wollen wir hier nicht eingehen; einige davon sind nicht ganz sicher und streng, z. B. der Beweis aus dem sogen. seitlichen Schienendruck bei den Eisenbahnen.

* * *

Noch einmal wollen wir uns der an Fig. 42 (S. 140) geknüpften Vorstellung bedienen. In dem Wagen des innern Zuges, wo sich der

---

[1] Für die folgende Ableitung vgl. S. 47 und 83.

[2] Die vorhin an dem Beispiele der Kanone erläuterte Verschiebung ist weit geringfügiger.

Beobachter befindet, werde ein Pendel (Fig. 48) angebracht, das aus einer langen Schnur und einer schweren Kugel besteht. Aus der Gleichgewichtslage gebracht, schwingt es, wie wir wissen, hin und her. Die Teilchen der Kugel folgen dem Trägheitsgesetze. Führe der Zug mit gleichmäßiger Geschwindigkeit in gerader Richtung, so würde das Pendel ungestört hin und her gehen; denn die allgemeine Bewegung aller Teile in der Fahrrichtung würde durch die Schwingungsbewegung nicht gestört werden, und umgekehrt. Ein plötzliches Anziehen oder Bremsen würde den Gang natürlich stören. Aber auch eine Fahrt in gekrümmter Bahn. Ist das Pendel in A (Fig. 42), so haben alle seine Teile das Bestreben, nach T zu gehen. Nun möge die Schwingungsebene, die alle Lagen des Pendels enthält, augenblicklich durch C gehen. Diese Schwingungsebene sucht das Pendel beizubehalten; ist nach einiger Zeit der Wagen in U angelangt, so muß die neue Schwingungsebene der alten parallel sein, also durch U parallel zu CA gehen. Der Aufhängerahmen hat sich aber gedreht; stand er auf CA senkrecht, so wird er zu CU schief stehen, da die Rahmenachse OW (Fig. 48), einmal in die tangentiale Richtung AT gebracht, immer den Kreis berühren wird. Für den Beobachter, der sich mit dem Rahmen dreht, scheint sich die Schwingungsebene des Pendels zu drehen, und zwar offenbar mit dem Uhrzeiger; der Winkel XUW (Fig. 42), den die Schwingungsebene mit dem Radius CU macht, ist gleich dem Drehungswinkel ACU.

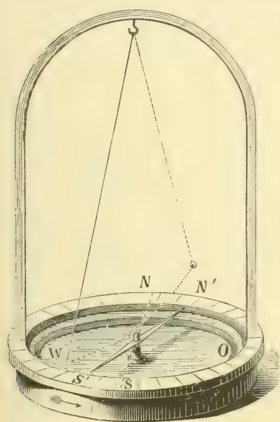


Fig. 48. Zu Foucaults Pendelversuch.

Denken wir uns nun ein horizontales Brett auf den Nordpol der Erde gelegt und auf einer beliebigen Stelle dieses Brettes das Pendel (Fig. 48) aufgehängt, so wird sich dessen Schwingungsebene dem Gesagten zufolge zu drehen scheinen, weil das Gestell bei der Rotation um den festen Nordpol läuft. Insbesondere wird, wenn wir das Gestell auf dem Pol selber anbringen, dieses mit der Erde um die feste Achse HNM (Fig. 49) rotieren, während die Schwingungsebene keine Ursache hat, sich zu ändern. Diese scheint also auf der rotierenden Erde im Sinne des Uhrzeigers umzulaufen.

Da es unmöglich ist, den Versuch am Nordpol selbst anzustellen, so fragt es sich, welche Änderung der Vorgang auf einem beliebigen Parallelkreise erfährt. Am Nordpol war die Drehung des Meridians einfach gleich der der Erde selbst; in mittlern Breiten ist sie kleiner. In Fig. 50 sehen

wir an die Erdkugel im Punkte A in der Breite φ die Meridiantangente AC gezogen, die die verlängerte Achse in C schneidet. Das ist die Nordsüdlinie des Ortes. Drehen wir die Erde gegen den Zeigerlauf um ihre Achse MPC, so beschreibt der Punkt A seinen Parallel; die Nordsüdlinie AC dreht sich um C und beschreibt dabei einen Kegelmantel.

Um die Größe der Meridiandrehung für ein Zeitteilchen zu bekommen, wenden wir auf das von den Kanten A_1C, A_2C und MC gebildete körperliche Dreieck die Formel (1) des 6. Kap. an. Es möge sich die Erde um den sehr kleinen Winkel α gedreht haben, so ist dieses der Neigungswinkel der Ebenen A_1CM und A_2CM. Die planimetrischen Winkel A_1CM und A_2CM, die in der angezogenen Formel mit b und c bezeichnet werden, sind hier jeder gleich φ, wie man sofort an der Figur erkennt; die dort

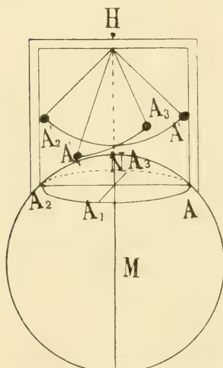


Fig. 49. Foucaults Pendel am Nordpol.

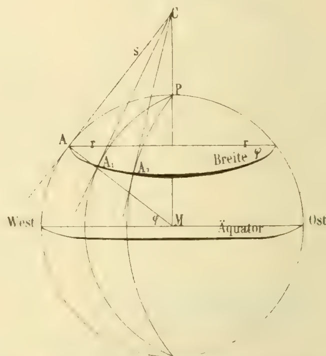


Fig. 50. Foucaults Pendelversuch in beliebiger Breite.

mit a bezeichnete dritte Seite ist der gesuchte Drehungswinkel A_1CA_2. So erhält man

$$\cos a = \cos^2\varphi + \sin^2\varphi \cos\alpha = \cos^2\varphi + \sin^2\varphi - \sin^2\varphi\,(1 - \cos\alpha)$$
$$= \cos(\varphi - \varphi) - 2\sin^2\varphi \sin^2\frac{\alpha}{2} = 1 - 2\sin^2\varphi\sin^2\frac{\alpha}{2}.$$

Dann wird weiter

$$\cos^2 a = 1 - 4\sin^2\varphi\sin^2\frac{\alpha}{2} + 4\sin^4\varphi\sin^4\frac{\alpha}{2}.$$

Wird nun α sehr klein, so kann man $\sin\frac{\alpha}{2}$ durch $\frac{\alpha}{2}$ ersetzen und das dritte Glied weglassen. So wird

$$\cos^2 a = 1 - \sin^2\varphi\cdot\alpha^2;\ \sin^2 a = \sin^2\varphi\cdot\alpha^2;$$

oder da man auch den sin a durch den Winkel ersetzen kann,

$$a = \alpha\cdot\sin\varphi.$$

Mit andern Worten: Dreht sich ein Meridian am Nordpol um den kleinen Winkel α, wodurch scheinbar die Ebene des Polarpendels die Drehung α erhält, so dreht sich der Meridian in der Breite φ nur um den noch kleinern Winkel $\alpha \cdot \sin \varphi$. Die Summe aller dieser kleinen Drehungen während eines Sterntages ist also nicht mehr 360^0, wie am Nordpol, sondern $360^0 \cdot \sin \varphi$; in der Breite von 30^0 z. B. (Kairo) beträgt sie nur mehr 180^0, da $\sin 30^0 = 0{,}5$ ist. Das Ergebnis überrascht insofern, als nach Ablauf eines Sterntages zwar der Meridian wieder an der alten Stelle ist, nicht aber die Schwingungsebene. Man bedenke dabei, daß das Pendel durchaus nicht ganz frei ist, vielmehr an das Gestell gebunden, welches seinerseits eine Kegelbewegung macht. Nur in einem kleinen Zeitabschnitte α können wir das Fortschreiten der beiden Gestellsäulen, die wir uns meridional aufgestellt denken, als geradlinig ansehen; auch der Aufhängepunkt schreitet dann geradlinig nach Osten fort, und zwar mit mittlerer Geschwindigkeit, während die nördliche Säule langsamer, die südliche schneller geht.

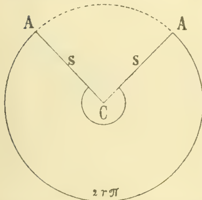


Fig. 51. Drehung des Meridians.

Denkt man sich (Fig. 51) den von der Mittagslinie AC beschriebenen Kegelmantel abgerollt, so hat man in dem überstumpfen Sektor ACA die wahre Summe aller erlittenen Drehungen. Nun ist dieser Mantel gleich $r\pi s$, wenn $s = AC$ und r der Radius des Paralellkreises ist. Es ist $\frac{r}{s} = \sin \varphi$; $r = s \sin \varphi$, der Mantel also gleich $\pi s^2 \cdot \sin \varphi$. Andererseits ist der vollständige Kreis, den man um C mit s beschreiben kann, gleich πs^2, so daß unser Sektor in dem Verhältnisse $\sin \varphi$ kleiner als dieser Kreis ist. In demselben Verhältnisse ist die Summe der elementaren Drehungen kleiner als 360^0.

Seitdem Foucault den nach ihm benannten Pendelversuch im Meridiansaale der Pariser Sternwarte (1851) angestellt und damit die Rotation der Erde bewiesen hat, ist dieser Versuch mehrfach wiederholt worden. Zum Gelingen desselben gebraucht man ein sehr langes Pendel mit einer sehr schweren Metallkugel, um den Luftwiderstand besser zu überwinden; der sie tragende Draht muß höchst sorgfältig befestigt sein, wenn nicht durch seine Drehung (Torsion) eine Fehlerquelle geschaffen werden soll. Auch muß jede rotatorische Bewegung der Kugel unmöglich gemacht werden. Eine interessante Abänderung gewährt das Kegelpendel. Von einer Drehung der Schwingungsebene kann hier keine Rede sein; aber die Schwingungszahl ist größer, wenn man es (auf der nördlichen Halbkugel) mit dem Zeiger umlaufen läßt als bei der entgegengesetzten Drehung. Der Grund ist so einfach, daß wir ihn nicht zu erläutern brauchen.

Kurz erwähnt sei noch ein weiterer Beweis für die Rotation der Erdkugel. Ein Gegenstand, der auf einem 100 m hohen Gerüste liegt, beschreibt einen größern Bogen als der Punkt der Erdoberfläche unter ihm. Am Äquator hat man für den Unterschied in der Sekunde

$$\frac{2\pi}{86164,1}\left[(r + 100) - r\right] = \frac{200\pi}{86164,1}.$$

Es ist nun (vgl. S. 142):

$$\begin{aligned} \log 200\pi &= 2,79818. \\ \log 86164,1 &= 4,93533. \\ \hline \log 0,007292 &= 7,86285 - 10. \end{aligned}$$

Der Gegenstand legt also in jeder Sekunde 7 mm mehr zurück als der Punkt des Äquators unter ihm. Läßt man ihn aus der Höhe von 100 m fallen, so langt er dem Fallgesetze zufolge nach $4^s,53$ unten an. Er ist in dieser Zeit seiner Projektion um $4,5 \times 7,3$ mm = 33 mm vorausgeeilt, trifft also die Erdoberfläche an einem um ebensoviel weiter nach Osten gelegenen Punkte. Dieser Sachverhalt überrascht deshalb besonders, weil die Gegner der Achsendrehung in gänzlicher Verkennung des Trägheitsgesetzes geradezu behauptet hatten, es müsse eine westliche Abweichung eintreten. Übrigens wird in höhern Breiten die Sache verwickelter; die östliche Abweichung ist nicht nur kleiner als am Äquator, sondern es verbindet sich mit ihr eine sehr kleine Abweichung zum Äquator hin, wie aus frühern Betrachtungen (S. 147—148) zu schließen ist.

Durch Beobachtungen in der Michaeliskirche zu Hamburg hat Benzenberg im Jahre 1804 die östliche Abweichung, die ihres geringen Betrages halber nicht leicht zu messen ist, als zweifellos bestehend erwiesen, und die spätern Versuche von Reich im Freiberger Dreibrüderschacht haben die Theorie noch schöner bestätigt.

Alle diese Thatsachen in ihrer Verbindung sind ein zwingender Beweis für die Achsendrehung der Erde. Wir werden darum in Zukunft diese Drehung als Thatsache betrachten und vom täglichen Himmelslaufe nur im uneigentlichen Sinne mehr reden.

Fünfzehntes Kapitel.

Scheinbarer Lauf der Planeten; ptolemäisches, tychonisches und coppernicanisches System.

Bereits am Schlusse des 11. Kapitels haben wir auf Grund der geringfügigen täglichen Parallaxe der Sonne die Vermutung geäußert, daß es mit der Annahme des jährlichen Sonnenlaufes nicht so ganz richtig sein könne, da die Sonne bedeutend größer sei als die Erde. Versuchen wir

nun der Frage, ob sich diese Bewegung durch eine andere ersetzen läßt, näher zu treten. Die Ebene der Fig. 52 sei die der Ekliptik. Nehmen wir an, daß die Erde im Centrum der drei Kreise steht, so ist die Sache ganz einfach. Die Sonne bewegt sich für den europäischen Beobachter gegen den Uhrzeigerlauf durch den innersten Kreis; ist sie am 20. März in g, so wird sie am 20. April (ungefähr) in h stehen, am 20. Mai in i u. s. w. Für m finden wir den 20. August, für a den 20. September, für b den 20. Oktober u. s. w., alles mit ausdrücklichem Absehen von der ungleichen Länge der bürgerlichen Monate und der etwas veränderlichen Laufgeschwindigkeit. Wir versetzen die Sonne durch unsere Beobachtungen an eine Sphäre mit unendlich großem Radius; sie scheint also, wenn die Ekliptik, d. h. der Durchschnittskreis dieser Sphäre mit der Bahnebene, durch den äußersten Kreis dargestellt wird, der Reihe nach durch G, H, J . . . F zu gehen.

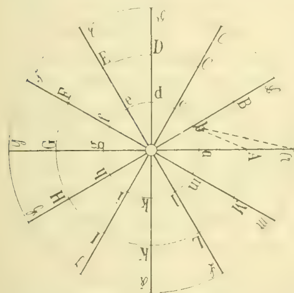


Fig. 52. Geometrische Gleichwertigkeit der Annahmen über den Jahreslauf der Erde und der Sonne.

Nehmen wir nunmehr an, die Sonne stehe im gemeinsamen Centrum der drei Kreise, und die Erde bewege sich so durch den innersten Kreis, daß sie am 20. März in a, am 20. April in b u. s. w. zu finden sei. Auch dann werden wir am 20. März die Sonne an den Punkt G der Sphäre versetzen, am 20. April nach H u. s. w. Es kommt also genau dieselbe Erscheinung zu stande, als bewegte sich die Sonne um die Erde. Dabei ist noch dreierlei zu beachten.

Zunächst sehen wir nämlich, daß die Bewegung nunmehr jedenfalls für den europäischen Beobachter dem Zeigerlaufe entgegengesetzt ist, ob wir die Erde oder die Sonne stillstehen lassen. Bei der täglichen Bewegung war das anders. Hier mußten wir (Fig. 42 S. 140) entweder die Erdkugel gegen den Zeiger oder die Sphäre mit dem Zeiger rotieren lassen.

Zweitens ist zu bemerken, daß auch der wechselnden Sonnenentfernung, wie sie sich in der wechselnden scheinbaren Größe und ihrer wechselnden Geschwindigkeit, wie sie sich in den Beobachtungen der RA und Decl der Sonne ausspricht, durch die Hypothese des Erdenlaufes in befriedigender Weise Rechnung getragen wird. Denn wir brauchen ja nur die Erde in einer elliptischen Bahn um die Sonne laufen zu lassen, die Entfernung den Größenbeobachtungen zufolge und die Winkelgeschwindigkeit der scheinbaren Winkelgeschwindigkeit der Sonne gemäß zu ändern, dann ist der ganze Verlauf des Sonnenjahres erklärt.

Es muß drittens beachtet werden, daß auch die schiefe Stellung der Ekliptik zum Äquator ihre einfache Erklärung findet, wenn wir nur die Gesetze der Rotationsbewegung und unsere Kenntnisse über den Mond hierbei verwerten. Wir wissen, daß ein rotierender Körper einem ganz ähnlichen Trägheitsgesetze unterliegt wie ein fortschreitender: erfolgt die Rotation um eine der sogen. natürlichen Achsen, beim Sphäroide z. B. um die kleinste Achse, bei der Kugel um irgend einen Durchmesser, so kann ihre Geschwindigkeit und die Lage der Achse nur durch äußere Ursachen geändert werden; greifen solche nicht ein, so geht die Rotation unaufhörlich mit derselben Geschwindigkeit um dieselbe Achse weiter. Die Trägheit der Achse gilt nicht nur für einen Körper, der als Ganzes in Ruhe verharrt, wie z. B. der Kreisel, sondern auch für einen fortschreitenden; darum läßt sich ein Radreifen von Knabenhand sehr lange weitertreiben, der an Ort und Stelle umfallen würde. Die Achse eines fortschreitenden und rotierenden Körpers sucht einer festen Richtung parallel zu bleiben. Äußere Ursachen können die Achsenlage und Winkelgeschwindigkeit ändern; so erlangt die Kugel des Billard- oder Kegelspieles durch die Reibung an der Bahn die Rotation um eine horizontale zur Bahn senkrechte Achse; der Anstoß an die Hindernisse ändert die Rotationselemente mannigfaltig ab. Daß ein frei schwebender Körper die Achsenlage mit großer Beharrlichkeit beibehält, zeigt uns das neuerdings wieder aufgekommene Spielzeug „Archimedes", das aus einer in der Luft fortschreitenden Schraube besteht; wir sehen dieselbe Beharrlichkeit, obschon mit einer kleinen Abänderung durch den Luftwiderstand, an den Geschossen, die aus gezogenen Rohren gehen; eine stärkere Änderung tritt hier erst beim Aufschlagen ein, und es entstehen dadurch oft gewaltige Zerstörungen. Vom Monde haben wir schon früher (S. 119) gehört, daß seine Achse einer festen Richtung parallel bleibt, d. h. daß sie immer auf denselben Fixstern weist; denn weil des Mondes Entfernung nur 30mal so groß ist wie der Durchmesser der Erde, sind auch noch in Bezug auf die Mondbahn die Fixsterne als unendlich ferne Punkte anzusehen. Die konstante Achsenlage des Mondes ist leicht nachzuweisen. Mit Hilfe der Libration läßt sich die augenblickliche Achsenlage jederzeit feststellen, oder eigentlich die Ebene, welche durch die Achse und das Centrum der Erde geht[1]. Das sphärische Bild dieser Ebene ist ein Hauptkreis. Macht man die Bestimmung zu verschiedenen Zeiten, so zeigt sich, daß alle diese Hauptkreise durch dieselben Punkte der Sphäre gehen; es sind das offenbar die beiden durch nahestehende Fixsterne gekennzeichneten unendlich fernen Punkte des Bündels von Parallellinien, dem die Achse in ihren verschiedenen Lagen angehört.

---

[1] Nach Wegschaffung der täglichen Libration.

Auch die Rotationsachse der Sonne bleibt einer festen Richtung parallel. Da wir jedoch die fortschreitende Bewegung der Sonne zunächst anzweifeln, sehen wir von diesem Himmelskörper ab, bemerken aber, daß auch die Planeten Mars, Jupiter und Saturn durch die teleskopische Beobachtung als Sphäroide [1] erkannt werden, deren Rotationsachsen zu festen Linien parallel sind.

Auch von der Erdkugel werden wir annehmen müssen, daß ihre Achse beständig einer festen Linie parallel bleibt, während sie um die Sonne läuft. Nun aber erhebt sich ein Einwand, der nicht länger umgangen werden kann. Wenn diese jährliche Bewegung der Erde wirklich stattfindet, so muß der Radius des beschriebenen Kreises jedenfalls von ganz gewaltiger Größe sein; denn wir haben ja früher gehört, daß die tägliche Parallaxe der Sonne sehr viel kleiner als die des Mondes ist, ihre Entfernung also sehr viel größer. Dürfen wir da noch die Fixsterne als unendlich ferne Punkte ansehen, d. h. die Annahme machen, daß die Blicklinien nach demselben Fixsterne keine Abweichung vom Parallelismus zeigen, ob man den Stern auch von den verschiedensten Stellen der Erdbahn aus beobachtet? Es handle sich um den Stern A (Fig. 52) in der Ebene der Ekliptik. Läuft die Erde wirklich um die Sonne, so kann nur dann, wenn sie in a steht [2], der Stern an der richtigen Stelle erscheinen. Ist sie in b, so muß uns der Stern um den Winkel b A a gegen die alte Richtung verschoben erscheinen; ähnliches gilt für die andern Punkte der Bahn. Diese Verschiebung nennen wir die *jährliche Parallaxe*, weil sie in einem Jahre alle ihre Werte durchläuft; sie besteht offenbar auch für Sterne außerhalb der Ebene der Ekliptik, und wir werden uns später damit ausführlicher zu befassen haben.

Man sieht ferner, daß die jährliche Parallaxe auch die Gestalt der Sternbilder ändern muß. In der That, wenn wir die Winkelentfernung z. B. der Sterne F und D vom Centrum der ruhenden Sonne aus bestimmen könnten, würden wir immer 60^0 erhalten; von e aus erhalten wir einen zu großen Winkel, aus l einen merklich kleinern.

Übrigens wird die jährliche Parallaxe geringer, wenn wir den Stern in größere Entfernung setzen, so ist $\sphericalangle\, b\mathfrak{A}a < bAa$; nehmen wir den äußern Kreis immer größer an, so kommen wir am Ende auf unmeßbar kleine Winkel.

Soll also die Erde um die Sonne laufen, dann muß man entweder für jeden Fixstern eine jährliche Parallaxe nachweisen oder bei jedem Fix-

[1] Auch beim Mars ist die Abweichung von der genauen Kugelgestalt neuerdings im Fernrohr erkannt worden; länger schon kennt man sie bei Jupiter und Saturn, wo sie freilich viel größer ist.

[2] Rein geometrisch auch dann, wenn sie sich in g befindet; der Stern ist aber dann unsichtbar, weil er hinter der Sonne steht.

sterne, wo das nicht gelingt, die kühne Annahme machen, daß sein Abstand nicht nur in Bezug auf die Erde, sondern auch in Bezug auf die Erdbahn als unermeßlich anzusehen sei. Mit Recht hielt man dem Coppernicus, als er den jährlichen Erdenlauf lehrte, das Fehlen einer jährlichen Fixsternparallaxe als Einwand entgegen. Sie ist später für eine Anzahl von Fixsternen gemessen worden; ihr Betrag ist so winzig, daß ihre so späte Auffindung begreiflich wird. Die meisten Fixsterne haben keine meßbare Jahresparallaxe.

Die Auffindung dieser Parallaxen ist ein wichtiger Beweis für die jährliche Erdenbewegung. Da es aber trotzdem gewagt erscheint, die erdrückende Mehrzahl der Fixsterne auch in Bezug auf die Erdbahn als unendlich ferne Punkte anzusehen, werden weitere Beweise sehr erwünscht sein. In der That giebt es solche; bevor wir sie kennen lernen, wollen wir für einen Augenblick den Satz als bewiesen ansehen und uns fragen, wie sich die alten Begriffe der neuen Auffassung anschmiegen.

Daß die Weltachse, welche wir den verschiedenen Koordinatensystemen an der Sphäre zu Grunde legen, eine Parallele zur Erdachse ist, wissen wir aus frühern Kapiteln. Bleibt nun die Erdachse einer festen Richtung parallel, die wir am einfachsten durch das Centrum der Sonne legen können, so bleibt auch die Äquatorebene der Erde einer festen durch das Sonnencentrum gehenden Ebene parallel, die auf jener festen Achse senkrecht steht. Durch das Centrum der Sonne gehen also zwei feste Ebenen, nämlich außer der genannten noch die Ebene der Ekliptik, in der sich das Centrum der Erdkugel bewegt.

Die beiden durch das Sonnencentrum gelegten Ebenen schneiden sich längs einer durch dasselbe Centrum gehenden Geraden unter dem uns bekannten Winkel von $23\frac{1}{2}^0$. Diese Linie liegt den Koordinatensystemen der RA und der Längen zu Grunde. Einen beliebigen Stern denken wir uns mit dem Centrum der Sonne verbunden. Projicieren wir die Verbindungslinie auf die durch die Sonne gelegte Ebene des Erdäquators, so macht die Linie mit der Projektion einen Winkel, den wir heliocentrische[1] Deklination nennen, und die Projektion macht mit der vorhin genannten Durchschnittslinie einen Winkel, denn wir im Sinne des scheinbaren Jahreslaufes der Sonne oder des wirklichen Jahreslaufes der Erde von 0^0 bis 360^0 zu zählen[2] und als heliocentrische Rektascension zu bezeichnen haben. Indem wir die Blicklinie Sonne-Stern in derselben Weise auf die Ekliptikalebene projicieren und dieselbe Durchschnittslinie wie eben als Zählungsanfang benutzen, erhalten wir die heliocentrische Länge und Breite des Sternes.

---

[1] Ἥλιος, Sonne; κέντρον, Mittelpunkt. [2] Oder auch von 0^h bis 24^h.

Wird nun der Stern irgendwo vom Centrum der Erde[1] aus beobachtet, so leitet man die Lage der Achse und der Äquatorebene aus der täglichen Bewegung ab. Die Achse ist nicht identisch mit ihrer durch die Sonne gehenden Parallelen, ebensowenig im allgemeinen die Äquatorebene mit der parallelen Hauptebene, und darum auch nicht die Durchschnittslinie Äquator-Ekliptik mit der entsprechenden heliocentrischen Linie. Für einen unendlich fernen Punkt macht das nichts aus. Die Blicklinien von der Erde und der Sonne nach diesem Punkte sind parallel, und darum auch ihre Projektionen auf parallele Ebenen, die Winkel der Blicklinien mit den Projektionen und der Projektionen mit den Durchschnittslinien Äquator-Ekliptik. Die von der Erde aus gerechneten, geocentrischen[2] RA und Decl, Längen und Breiten stimmen also mit den entsprechenden heliocentrischen Größen für unendlich ferne Punkte überein; bei endlich entfernten muß man aber die geocentrischen Beobachtungen umrechnen, wenn man sie auf das feste Centrum der Sonne beziehen will.

Der Frühlings- und Herbstpunkt sind als unendlich ferne Punkte im strengen Sinne aufzufassen, da sie nur Richtungen bezeichnen, ebenso der Nord- und Südpol des Himmels.

Daß die heliocentrische Länge der Erde in jedem Augenblicke gleich der um 180° vermehrten oder verminderten geocentrischen Sonnenlänge ist, folgt schon aus den an Fig. 52 (S. 153) geknüpften Betrachtungen. Dasselbe gilt für die RA. Die Verbindungslinie Erdencentrum-Sonnencentrum werde sowohl auf die irdische Äquatorebene in ihrer augenblicklichen Lage projiciert als auch auf den parallel dazu durch die Sonne gelegten Normaläquator[3]. Dann zeigt sich sofort, daß die geocentrisch bestimmte Projektion mit der augenblicklichen Durchschnittslinie Äquator-Ekliptik zwar denselben Winkel macht wie die heliocentrisch bestimmte mit der entsprechenden Normallinie, jedoch nach entgegengesetzter Richtung. Zugleich ergiebt sich, daß jeder heliocentrischen nördlichen Deklination der Erde eine ebensogroße geocentrische südliche Deklination der Sonne entspricht, und umgekehrt.

In Fig. 53 ist die Ekliptikalebene als Zeichenebene gewählt, und die mit ♈ ♎ bezeichnete Linie geht nach den unendlich fernen Äquinoktialpunkten des Himmels. Die Durchschnittslinie des Äquators mit der Ekliptik ist stets parallel zu dieser Richtung. Die Erdachse schneidet stets die Zeichenebene unter einem Winkel von $66^1/_2{}^0$, und zwar so, daß sich ihre nördliche Hälfte über die Richtung ♑ ♋ nach rechts erhebt, die südliche nach links darunter hinabsinkt.

---

[1] Das läßt sich ja nicht verwirklichen. Für die Fixsterne kann man aber, wie wir wissen, jeden Beobachtungsort mit dem Centrum vertauschen, und für die Planeten, deren tägliche Parallaxe meßbar ist, kann man die Beobachtung eben mit Hilfe der Parallaxe auf das Centrum der Erde umrechnen. [2] Γῆ, Erde; κέντρον, Mittelpunkt.

[3] So wollen wir diese Ebene nennen. Eine Verwechslung mit dem eigenen Äquator der Sonne, der hiermit nichts zu thun hat, ist wohl nicht zu befürchten.

Am 21. (oder 20.) März ist, wie die Figur zeigt, die heliocentrische RA der Erde 180°, ihre Decl 0°; die geocentrische Sonnen-RA 0°, ihre Decl 0°. Die Anwohner des irdischen Äquators bekommen die Mittagssonne ins Zenith, einer nach dem andern während der täglichen Rotation. Am 21. Juni ist der Wendekreis des Krebses der zenithalen Strahlung der Sonne ausgesetzt, deren Decl von $+ 23^1/_2{}^0$ der heliocentrischen Erden-Decl von $- 23^1/_2{}^0$ entspricht; umgekehrt am 21. Dezember; am 23. September hat der Äquator die Zenithsonne.

Weiter auf die hieraus folgenden Beleuchtungsverhältnisse einzugehen hätte keinen Zweck. Der Leser ist zu der Überzeugung vorgedrungen, daß zur Erklärung des scheinbaren Sonnenlaufes im Jahre die beiden Hypothesen

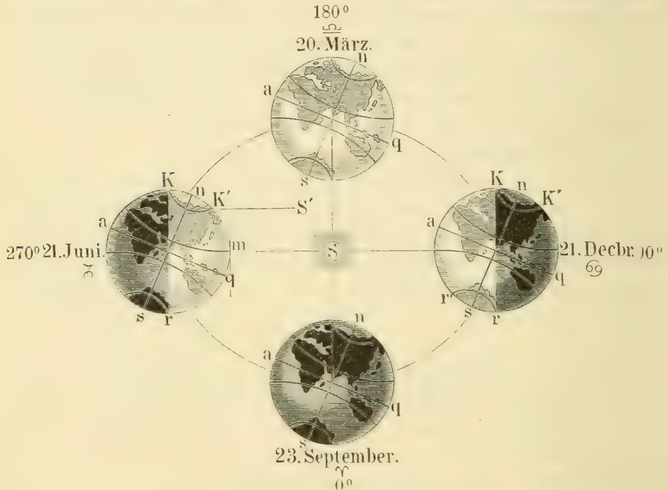


Fig. 53. Jährlicher Lauf der Erde um die Sonne.

geometrisch durchaus gleichwertig sind. Alles was wir im 8. Kapitel über die Sonnenbewegung gesagt haben, bleibt auch unter der Annahme des Erdenlaufes gültig, insbesondere alle Formeln zur Umrechnung der Sonnenlänge auf RA und Decl, die wieder zur Berechnung der Tageslänge in beliebigen Polhöhen benutzt werden.

Um die Richtigkeit der Hypothese zu prüfen, daß die Sonne und nicht die Erde stillsteht, werden wir zunächst die Bewegungen der Planeten betrachten, deren bestimmbarer Winkeldurchmesser auf einen verhältnismäßig geringen Abstand und damit auf die Möglichkeit des Entstehens einer meßbaren Jahresparallaxe hinweist.

* * *

Damit der geneigte Leser sich ein Urteil über die scheinbare Bewegung der Planeten bilden könne, geben wir auf S. 160 die RA und Decl des Jupiter, wie sie von Anfang April 1895 bis zum Ende des Jahres 1897 an den Sternwarten beobachtet worden sind. Die Decl sind auf Bogenminuten, die RA auf Zehntelzeitminuten abgerundet[1]. Der Zeitpunkt, wofür die Örter gelten, ist der mittlere Mittag der Berliner Sternwarte.

Da uns diese Tafel den scheinbaren Lauf der Planeten überhaupt verständlich machen soll, mag noch einmal auf die Grundbegriffe zurückgegangen werden. Alle Himmelskörper ohne Ausnahme machen den täglichen Umlauf mit, der, wie wir wissen, eine einfache Folge der täglichen Rotation der Erde ist. Die meisten Himmelskörper haben nur diese Bewegung, oder sie stehen in Wahrheit still[2]; man kann darum ihre Örter an der Sphäre nach RA und Decl ein für allemal angeben, sie sind Fixsterne. Einzelne Himmelskörper zeigen aber noch Eigenbewegungen, die von dem täglichen, auch ihnen zukommenden Himmelslaufe unabhängig sind und neben diesem bestehen. Das sind Sonne, Mond und Planeten. Die Sonne wird durch ihre wirkliche oder scheinbare Eigenbewegung in einem Jahre durch die ganze Ekliptik geführt; der Mond geht in seiner Eigenbewegung, die wir als thatsächlich vorhanden zu betrachten uns entschlossen haben, in $27^1/_3$ Tagen durch einen Kreis von veränderlicher Lage, der aber mit der Ekliptik nie einen großen Winkel macht[3]. Auch die Planeten machen ihre Eigenbewegungen, und es erhebt sich die Frage, inwieweit solche als wirklich anzusehen sind.

Was nun Jupiter angeht, so zeigt ein Vergleich unserer Tafel mit der Sternkarte oder dem Himmelsglobus:

1. daß sich dieser Stern immer in der Nähe der Ekliptik befindet, oder daß die Gesichtslinie immer nur einen kleinen Winkel mit jener Hauptebene macht, in der sich die Sonne zu bewegen scheint. Um das festzustellen, benutzen wir etwa die Angabe für 1896, September 13. Wir finden RA $= 9^h\ 57^m,9$ und Decl $= +13^0\ 14'$. Legen wir nun ein Lineal oder spannen einen Faden von dem Nordpol unserer großen Sternkarte bis zu dem zwischen $9^h\ 40^m$ und 10^h gelegenen Punkte des Randes, der ungefähr $9^h\ 57^m,9$ entspricht, so bedeutet dieser den ganzen Stundenkreis, dessen RA so groß ist; zwischen die Parallelkreise von 10^0 und 20^0 denken wir uns nun den Parallel von $13^0\ 14'$ in entsprechender Lage eingeschaltet; er schneidet den Faden an dem Orte, den Jupiter 1896, September 13. im mittlern Berliner Mittage einnimmt und der bei der geringen Veränderlichkeit nahezu für den ganzen Tag gilt. Obgleich unsere Karte für die ge-

---

[1] Die wirklich beobachteten Örter können also nach dem aus der decimalen Rechnung bekannten Grundsatze der Abkürzung von den hier angegebenen in RA höchstens um $0^m,05 = 45''$ und in Decl höchstens um $0',5 = 30''$ abweichen.

[2] Von gewissen sehr geringfügigen Bewegungen abgesehen. [3] Vgl. S. 105—109.

Scheinbarer Lauf des Jupiter 1895, April 2. bis 1897, Dezember 27.

(Nach dem Berliner Astronomischen Jahrbuche.)

1895, April 2.	5^h	$55^m,3$	+ 23^0	$28'$
12.	6	1,0	23	29
22.	6	7,7	23	29
Mai 2.	6	15,2	23	28
12.	6	23,2	23	25
22.	6	31,8	23	21
Juni 1.	6	40,8	23	14
11.	6	50,1	23	5
21.	6	59,6	22	53
Juli 1.	7	9,3	22	39
11.	7	18,9	22	23
21.	7	28,5	22	5
31.	7	38,0	21	45
Aug. 10.	7	47,2	21	23
20.	7	56,1	21	1
30.	8	4,7	20	38
Sept. 9.	8	12,7	20	14
19.	8	20,2	19	52
29.	8	26,9	19	30
Okt. 9.	8	32,9	19	11
19.	8	37,9	18	54
29.	8	42,0	18	41
Nov. 8.	8	44,9	18	32
18.	8	46,5	18	27
28.	8	46,8	18	28
Dez. 8.	8	45,8	18	34

1895, Dez. 8.	8^h	$45^m,8$	+ 18^0	$34'$
18.	8	43,5	18	45
28.	8	40,0	19	0
1896, Jan. 7.	8	35,6	19	19
17.	8	30,4	19	39
27.	8	24,9	19	59
Febr. 6.	8	19,5	20	18
16.	8	14,6	20	35
26.	8	10,6	20	48
März 7.	8	7,7	20	57
17.	8	6,0	21	2
27.	8	5,6	21	3
April 6.	8	6,6	21	0
16.	8	8,9	20	52
26.	8	12,2	20	42
Mai 6.	8	16,7	20	27
16.	8	22,1	20	9
26.	8	28,3	19	48
Juni 5.	8	35,1	19	24
15.	8	42,5	18	56
25.	8	50,3	18	26
Juli 5.	8	58,5	17	53
15.	9	6,9	17	17
25.	9	15,4	16	40
Aug. 4.	9	24,1	16	1
14.	9	32,7	15	20

1896, Aug. 14.	9^h	$32^m,7$	+ 15^0	$20'$
24.	9	41,3	14	39
Sept. 3.	9	49,7	13	56
13.	9	57,9	13	14
23.	10	5,9	12	33
Okt 3.	10	13,4	11	53
13.	10	20,5	11	15
23.	10	27,0	10	39
Nov. 2.	10	32,8	10	7
12.	10	37,9	9	39
22.	10	42,2	9	17
Dez. 2.	10	45,4	9	0
12.	10	47,6	8	49
22.	10	48,6	8	46
1897, Jan. 1.	10	48,4	8	50
11.	10	47,1	9	1
21.	10	44,5	9	19
31.	10	41,0	9	43
Febr. 10.	10	36,7	10	10
20.	10	31,9	10	40
März 2.	10	27,0	11	9
12.	10	22,2	11	37
22.	10	18,1	12	0
April 1.	10	14,7	12	18
11.	10	12,4	12	29
21.	10	11,2	12	34

1897, April 21.	10^h	$11^m,2$	+ 12^0	$34'$
Mai 1.	10	11,2	12	33
11.	10	12,3	12	25
21.	10	14,5	12	10
31.	10	17,8	11	50
Juni 10.	10	22,0	11	25
20.	10	26,9	10	55
30.	10	32,6	10	21
Juli 10.	10	38,8	9	43
20.	10	45,5	9	2
30.	10	52,7	8	18
Aug. 9.	11	0,1	7	32
19.	11	7,8	6	43
29.	11	15,7	5	54
Sept. 8.	11	23,7	5	3
18.	11	31,6	4	12
28.	11	39,6	3	22
Okt. 8.	11	47,4	2	32
18.	11	55,0	1	43
28.	12	2,4	0	57
Nov. 7.	12	9,4	+ 0	13
17.	12	15,9	— 0	28
27.	12	21,9	1	5
Dez. 7.	12	27,2	1	37
17.	12	31,7	2	4
27.	12	35,4	2	24

nauere Feststellung des Thatbestandes noch nicht groß genug ist, zeigt sich doch bei diesem und allen entsprechenden Versuchen, daß der Ort des Jupiter der Ekliptik immer sehr nahe ist. — Am 13. September 1896 stand Jupiter zufällig in der Nähe des hellen Fixsternes Regulus oder α Leonis, der selbst der Ekliptik sehr nahe ist. Mit diesem ging er ziemlich genau auf und unter. Die Nähe ist natürlich nur eine sphärische, keine räumliche; die Gesichtslinien nach den beiden Himmelskörpern machten nur einen kleinen Winkel miteinander. Thatsächlich war Regulus, wie sich aus späteren Betrachtungen ergeben wird, vielhundertmal weiter von uns entfernt als Jupiter.

2. Eine schärfere Prüfung zeigt für gewöhnlich gewisse Abweichungen der Planetenörter von der Ekliptik. So liegt, wie man weiß, der nördlichste Punkt der Ekliptik in $6^h\ 0^m + 23^0\ 27'$; man bemerkt, daß Jupiter 1895, April 2., 12. und 22. sowie Mai 2. etwas weiter nach Norden gestanden hat. Die Abweichungen der Örter von der Ekliptik sind für die alten Planeten ☿, ♀, ♂, ♃, ♄, auch noch für die neuentdeckten[1] ⛢ und ♆ immer nur gering; auch für einige der im Fernrohre entdeckten kleinen Planeten gilt das noch, während viele andere von diesen sehr erhebliche Abweichungen zeigen können.

3. Verfolgt man die ♃-Bewegung genauer, so bemerkt man, daß er seit 1895, April 2. zunächst lange Zeit rechtläufig gewesen, d. h. im Sinne des jährlichen Sonnenlaufes oder der wachsenden RA, für den nördlichen Beobachter gegen den Uhrzeigerlauf[2], weiter gegangen ist. Weiterhin bemerkt man, daß sich dieser Lauf allmählich beschleunigt, indem die RA-Differenzen wachsen. Allerdings hätte man statt jener eigentlich die Längendifferenzen zu berechnen; für die erste Betrachtung genügen aber auch jene. Die Beschleunigung wird aber allmählich kleiner, und vom Juli ab beginnt ♃ langsamer zu gehen. Zu Ende November scheint ein Stillstand einzutreten, die rechtläufige Bewegung ist immer langsamer geworden, und eine genauere Tafel würde zeigen, daß ♃ schon am 24. November umzukehren begonnen hat; an diesem Tage hatte er den Ort $8^h\ 46^m{,}9 + 18^0\ 27'$. Man bemerkt nun, daß die rückläufige Bewegung, also die Verminderung der RA oder der Lauf mit dem Zeiger für den europäischen Beobachter an Schnelligkeit allmählich gewinnt. Indessen erreicht die Geschwindigkeit doch nicht die hohen Beträge wie in der rechtläufigen Bewegung; ihr Maximum hat sie zu Ende Januar 1896, worauf man eine Verlangsamung bemerkt, die zu Ende März (genau am 24.) einen zweiten Stillstand herbeiführt. Dann wird ♃ wieder rechtläufig, erreicht zu Anfang August

---

[1] ⛢ ist Uranus, ♆ Neptun. Die andern Bezeichnungen sind S. 63 f. erklärt.

[2] Nicht mit dem Zeiger! Man beachte, daß der Beobachter im Centrum der scheinbaren Himmelskugel steht. Der Himmelsglobus macht die Sache sofort klar.

1896 (am 5.) ein Geschwindigkeitsmaximum und geht wieder langsamer. Einem Stillstande am 24. Dezember folgt wieder die rückläufige Bewegung, die 1897, Februar 24. am schnellsten vor sich geht, um später, April 26., wieder der rechtläufigen zu weichen. Von dieser ist noch das Maximum (September 12.) und dann eine fortschreitende Verlangsamung zu erkennen. *Im ganzen* kommt der Planet in der rechtläufigen Bewegung immer weiter.

Es ist das hohe Verdienst der altgriechischen Astronomen, diese Bewegung, die sich in ähnlicher Weise auch bei den Planeten ☿, ♀, ♂ und ♄ beobachten läßt, geometrisch richtig erklärt zu haben. Die richtige Auffassung vom Bau des Planetensystems konnte erst nach dem Durchgange durch ihre Erklärung zu Tage treten.

* * *

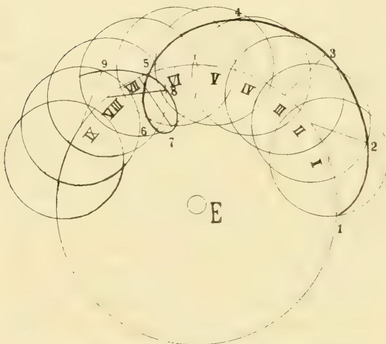


Fig. 54. Epicyklische Bewegung, geometrisch betrachtet.

Die ältesten griechischen Forscher, in erster Linie *Eudoxos*, hielten die Entfernung eines Planeten von der Erde für unveränderlich und suchten dessen Bewegung darzustellen, indem sie ihn an einer Sphäre anbrachten, diese in einer zweiten und die zweite in einer dritten sich drehen ließen. Es waren *homocentrische Sphären*, d. h. Kugeln mit demselben Mittelpunkte, die man annahm. Weit vollkommener war die Darstellung, zu der Apollonius, Hipparch und Ptolemäus stufenweise vordrangen. Sie scheinen aus der veränderlichen Lichtstärke der Planeten auf eine veränderliche Entfernung von der Erde geschlossen zu haben; daß sie damit recht hatten, lehrt uns jetzt das Fernrohr, das eine Veränderung der scheinbaren Planetendurchmesser zeigt, die noch viel weiter geht als bei Mond und Sonne. Um nun das *ptolemäische System* zu begreifen, denken wir uns zunächst (Fig. 54) die Erde E im Centrum des größten Kreises, der auf seinem Umfange die römischen Zahlen trägt. Dann denken wir uns einen kleinern Kreis, dessen Centrum auf dem großen Kreise läuft; die Kreise sollen vorläufig in einer Ebene liegen, nämlich in der Ebene der Zeichnung, welche zugleich die der Ekliptik sein soll. Der große Kreis heißt der Hauptkreis, deferierende, führende Kreis (circulus deferens) oder einfach der *Deferent*; den kleinern wollen wir den aufgesetzten Kreis oder

Epicykel[1] nennen. Das Centrum des Epicykels durchläuft den Deferenten mit konstanter Geschwindigkeit im Sinne der wachsenden RA, so daß es der Reihe nach in I, II bis IX steht. Den Epicykel selbst durchläuft mit größerer, aber ebenfalls konstanter Geschwindigkeit und gleichfalls im Sinne der wachsenden RA ein Himmelskörper. Dieser ist in 1, wenn das Centrum des Epicykels in I ist; in 2, wenn dieses in II ist u. s. w. In der Zeichenebene beschreibt dann der Planet die Kurve 1, 2, 3 . . . 9, welche man die Epicykloide nennt. Der irdische Beobachter sieht nun den Planeten in einer Weise durch die Ekliptik wandern, wie sie vorhin am Beispiele des Jupiter gezeigt worden ist; denn wenn wir E der Reihe nach mit allen Punkten der Epicykloide verbunden denken, so dreht sich die Verbindungs- oder Gesichtslinie um E zunächst im Sinne der wachsenden RA, und zwar erst langsam, dann schneller, bei 3 am schnellsten, dann wieder langsamer; etwas vor 5 ist für E die Winkelgeschwindigkeit merklich geringer geworden, noch geringer zwischen 5 und 6, und die Tangente, die wir aus E an die linke Seite der epicykloidischen Schleife etwas

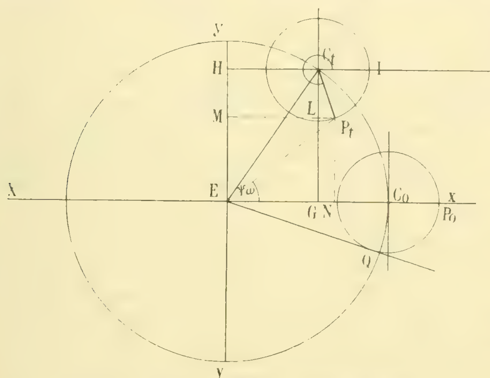


Fig. 55. Epicyklische Bewegung, analytisch betrachtet.

unterhalb 6 gelegt denken können, bezeichnet den Zeitpunkt, wo der Planet gerade auf uns zu läuft, seinen Ort an der Sphäre also nicht ändert. Dann scheint er nach rechts weiter zu gehen, also rückläufig zu werden, und dieser Rücklauf erreicht die größte Schnelligkeit in dem bei 7 gelegenen Punkte der Schleife, der uns am nächsten ist. Er verlangsamt sich nun, und zwischen 7 und 8 können wir eine durch E gehende Tangente an die Kurve legen, die wieder einen Stillstand bezeichnet. Diesem folgt die erneuerte Rechtläufigkeit, erst mit kleinerer, dann mit größerer Geschwindigkeit. Die weitere Bewegung im Deferenten und im Epicykel wird dann zur Bildung neuer Schleifen führen, die der beschriebenen Schleife kongruent sind.

---

[1] Ἐπίκυκλος von ἐπί, auf, und κύκλος, Kreis.

Es ist zu beachten, daß die Verschiebung des Planeten im Epicykel unabhängig von der andern Bewegung ist. Um das in aller Schärfe zu erfassen und zugleich den analytischen Ausdruck für die epicykloidische Bewegung zu gewinnen, nehmen wir (Fig. 55) in der Ebene der Ekliptik ein rechtwinkliges Koordinatensystem an, d. h. wir ziehen in dieser Ebene durch das Erdencentrum E zwei zu einander senkrechte Linien XX und YY und nennen den Abstand irgend eines Punktes von der Y-Achse x, von der X-Achse y, wobei wir die x nach rechts positiv und nach links negativ rechnen, die y nach oben positiv und nach unten negativ. Als Ausgangspunkt diene die Stellung C_o des Epicykelcentrums und P_o des Planeten, die mit E in gerader Linie liegen; diese Linie werde als X-Achse gewählt. Ist nun nach Ablauf einer bestimmten Zwischenzeit t das Epicykelcentrum in C_t angelangt, so ist wegen der Konstanz der Geschwindigkeit $\sphericalangle \psi = C_t E C_o = v_d t = \frac{2\pi}{T_d} \cdot t$. Hier bezeichnet v_d die Winkelgeschwindigkeit von C, also den Winkel, um den sich in der Zeiteinheit, etwa in einem mittlern Tage, die Linie EC gedreht hat. Wir messen diesen Winkel im sogen. absoluten Maße[1], d. h. in Teilen des Radius, setzen daher den Vollkreis gleich 2π; doch kann man auch das künstliche Maß des Grades nehmen und hat dann in allen folgenden Formeln 2π durch 360 zu ersetzen. Es ist $\pi = 180^0$, $\frac{\pi}{2} = 90^0$, $\frac{\pi}{4} = 45^0$ u. s. w. — Braucht das Epicykelcentrum T_d Tage zum Durchlaufen von 2π, so macht es in einem Tage $\frac{2\pi}{T_d}$; das ist also seine Winkelgeschwindigkeit v_d. Nennt man den Radius EC_o des Deferenten r_d, so ist die lineare Geschwindigkeit oder der im Tage zurückgelegte Weg gleich $r_d v_d$.

Projiciert man nun C_t auf die beiden Achsen, so ist offenbar x_d oder die Strecke EG oder $HC_t = r_d \cos\psi$, und $y_d = GC_t = EH = r_d \sin\psi$. Diese Beziehungen

$$x_d = r_d \cos\psi;\ y_d = r_d \sin\psi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

bleiben gültig, wenn der Winkel ψ in andere Quadranten übergeht; man erkennt das leicht, wenn man sich den Gang des sin und cos in den einzelnen vier Quadranten vergegenwärtigt und nach Durchlaufung des vollen Kreises $\sin(\psi - 360^0) = \sin\psi$; $\cos(\psi - 360^0) = \cos\psi$ setzt.

Andererseits ist nun der Epicykel selbst der Träger eines rechtwinkligen Achsenkreuzes, dessen Centrum nicht der feste Punkt E ist, sondern der bewegliche Punkt E, das Epicykelcentrum. Die Achsen dieses Systems erfahren fortwährend eine Parallelverschiebung; für einen Beobachter dagegen, der in dem beweglichen Punkte C stände, würden sie festzustehen scheinen, da sie immer

[1] Vgl. S. 29.

durch dieselben unendlich fernen Punkte (etwa Fixsterne) gingen. Durchläuft nun der Planet den Epicykel, dessen Radius r_e genannt werde, in T_e Tagen, so ist seine Geschwindigkeit $v_e = \frac{2\pi}{T_e}$; und nach t Tagen hat sich der Planet um einen gewissen Winkel im Epicykel gedreht; nennen wir den Winkel χ, so ist χ = dem erhabenen Winkel IC_tP_t, der in der Figur durch den innern Kreisbogen angedeutet wird; zufällig liegt er hier im vierten Quadranten, wo der cos positiv und der sin negativ ist. In dem beweglichen System werden die Koordinaten x_e und y_e oder die Abstände der Planeten von der beweglichen Y-Achse und der beweglichen X-Achse wieder so gemessen, daß rechts und oben als positiv gilt, links und unten als negativ. Man hat dann für jeden beliebigen Wert von χ

$$x_e = r_e \cos \chi; \; y_e = r_e \sin \chi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

In dem Falle, den die Figur andeutet, ist x_e oder LP_t positiv, y_e oder LC_t negativ. Das ist Zufall; es können alle Wertkombinationen vorkommen, die mit der leicht ersichtlichen Gleichung $x_e^2 + y_e^2 = r_e^2$ verträglich sind.

Es hat also nach dem bisher Vorgetragenen zur Zeit t

1. das Epicykelcentrum C in dem festen durch E gelegten Systeme die Koordinaten x_d und y_d;

2. der Planet P in dem beweglichen durch C gelegten Systeme die Koordinaten x_e und y_e.

Die Hauptfrage ist nun, welche Stellung der Planet selbst in dem festen System, d. h. in Bezug auf die Erde einnimmt. Leicht ergiebt sich, daß sein Abstand von der festen Y-Achse, den wir nun einfach x nennen wollen, stets gleich $x_d + x_e$ ist, wobei alle diese Größen mit ihren Vorzeichen zu nehmen sind; für seinen Abstand y von der festen X-Achse findet man ebenso $y_d + y_e$. Diese Gleichungen lauten, wenn man für die Summanden ihre Werte einsetzt, folgendermaßen:

$$\left.\begin{aligned} x &= r_d \cos \frac{2\pi t}{T_d} + r_e \cos \frac{2\pi t}{T_e}; \\ y &= r_d \sin \frac{2\pi t}{T_d} + r_e \sin \frac{2\pi t}{T_e}; \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

oder einfacher:
$$\left.\begin{aligned} x &= r_d \cdot \cos v_d t + r_e \cdot \cos v_e t; \\ y &= r_d \cdot \sin v_d t + r_e \cdot \sin v_e t \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Der Winkel ω oder P_tEP_o, den die Richtung von der Erde zum Planeten mit der ursprünglichen bildet, wird durch die Gleichung

$$\tan \omega = \frac{y}{x} = \frac{r_d \cdot \sin v_d t + r_e \cdot \sin v_e t}{r_d \cdot \cos v_d t + r_e \cdot \cos v_e t} \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

und das Stück $u = P_tE$ oder der Abstand des Planeten von der Erde durch die Gleichung

$$\begin{aligned} u^2 = x^2 + y^2 = (r_d \cdot \sin v_d t + r_e \cdot \sin v_e t)^2 \\ + (r_d \cdot \cos v_d t + r_e \cdot \cos v_e t)^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6) \end{aligned}$$

bestimmt. Natürlich konnten die Griechen diese einfache analytische Sprache noch nicht reden, sondern sie mußten sich auf geometrische Umschreibungen beschränken, die sie aber nicht hinderten, die Sache richtig darzustellen. Es sei noch bemerkt, daß, wie sich leicht ergiebt, auch die Gleichung (5) in allen Quadranten gilt, und daß in der Figur $x = MP_t = EN$ und $y = NP_t = EM$ ist.

Wie Fig. 54 zeigt, entspricht die größte Schnelligkeit des Rücklaufes dem geringsten Abstande des Planeten von der Erde. Ein auf dem Planeten stehender Beobachter würde bei dieser Gruppierung das Epicykelcentrum der Erde genau gegenüber sehen. Anknüpfend an eine früher[1] gewählte Bezeichnung wollen wir diese Stellung die Opposition nennen. Diese läßt sich beobachten, indem man von Tag zu Tage die Örter des Planeten verzeichnet und daraus die größte Geschwindigkeit des Rücklaufes ermittelt. Der Planet hat in der Opposition den größten scheinbaren Durchmesser. Das konnten die Alten nur aus der größern Helligkeit schließen; wir können es durch Messung direkt beweisen.

Es mögen nun zwei aufeinander folgende Oppositionen beobachtet worden sein. Die Zwischenzeit sei[2] gleich $\mathfrak{t}$. Dann können wir zunächst die Geschwindigkeit des Epicykelcentrums direkt bestimmen. In den Oppositionen steht nämlich für uns dieses Centrum an derselben Stelle der Sphäre wie der Planet; die Planetenbeobachtungen, die ja nur die Richtung geben, können deshalb in den Oppositionen einfach für Beobachtungen des Punktes C (Fig. 55) gelten. Der Abstand der beiden Punkte voneinander liefert uns den von C in der Zwischenzeit gemachten Weg.

Nimmt man mehrere Oppositionen zu Hilfe, so wird das Ergebnis etwas unabhängiger von gewissen kleinen Unregelmäßigkeiten, die, wie wir später sehen werden, die epicyklische Bewegung beeinflussen. So sind vom Jupiter in den letzten Jahren folgende Oppositionen beobachtet worden: 1. 1891, Sept. 5. 11^h M. Z. Berlin; Länge des ♃ 343°, wie sich durch Umrechnung aus der beobachteten RA ergeben hat. Die geringe Breite oder Abweichung von der Ekliptik wollen wir vernachlässigen. 2. 1892, Okt. 12. 7^h, L. = 20°; 3. 1893, Nov. 18. 0^h, L. = 56°; 4. 1894, Dez. 22. 15^h, L. = 91°; 5. 1896, Jan. 24. 2^h, L. = 124°; 6. 1897, Febr. 23. 3^h, L. = 155°. Absichtlich haben wir die Längen nur auf volle Grade angegeben, da es uns nur auf die erste Näherung ankommt. Man bemerkt, daß die Zwischenzeiten etwas wechseln; es sind, wenn man auf ganze Tage abrundet, zuerst[3] 403^d, dann 402^d, 400^d, 397^d, zuletzt[3]

---

[1] Vgl. S. 109. Der wahre Grund für die Wahl der Bezeichnung gerade an dieser Stelle ergiebt sich später.

[2] Wir wählen den Frakturbuchstaben, weil wir vorhin t von der entgegengesetzten Stellung, der Konjunktion an, gezählt haben.

[3] Die Schaltjahre beachten!

nur 396^d. Als Mittelwert für den synodischen Umlauf, wie die Zeit von einer Opposition zur nächsten genannt wird, dürfen wir $^1/_5$ (403 + 402 + 400 + 397 + 396) Tage oder 399^d,6 ansetzen. Nun ist der Planet, oder wie wir nach dem Vorigen annehmen dürfen, das Epicykelcentrum, im ganzen von 343° bis 155° gewandert, also um (360 + 155) — 343 Grade = 172°. Das ergiebt für jeden der 1998 Tage, welche die Wanderung gedauert hat, im Durchschnitt $\frac{172^0}{1998} = 0{,}086^0$ oder etwa 310″. Länger fortgesetzte Beobachtungen haben den Mittelwert 299″ ergeben.

Aber auch die andere Geschwindigkeit v_e können uns die Oppositionsbeobachtungen liefern. Soll eine Opposition eintreten, so muß $\sphericalangle\, \varphi = \chi + 180^0$ sein, da von der Erde aus P und C in derselben Richtung erscheinen. Bis zur nächsten Opposition hat nun der Punkt C einen gewissen Bogen beschrieben, P im Epicykel einen größern. Soll trotzdem wieder dieselbe Stellung eintreten, so muß der von P beschriebene Bogen um volle 360° größer als der von C beschriebene sein. In unserem Beispiele, das fünf synodische Umläufe oder eine fünfmalige Wiederholung der zuerst eingetretenen Gleichheit zwischen χ und φ umfaßt, hat sich also χ nicht nur um 172° vermehrt, sondern um $5 \cdot 360^0 + 172^0 = 1972^0$. Das giebt für jeden der 1998^d im Durchschnitt $\frac{1972^0}{1998} = 0^0{,}987$ oder 3553″. — Nennen wir wieder die Umlaufszeit im Deferenten T_d, die im Epicykel T_e, so ist noch $T_d = \frac{360^0}{v_d}$; $T_e = \frac{360^0}{v_e}$; und für die mit T_s zu bezeichnende synodische Umlaufszeit ergiebt sich leicht $\frac{1}{T_s} = \frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_d}$.

Wir sehen davon ab, diese Geschwindigkeiten in absolutem Maße auszurechnen, wollen aber die Umlaufszeiten nun auch noch bestimmen. Für das Centrum C mit einer täglichen Bewegung von etwa 300″ bekommt man leicht etwa zwölf Jahre heraus, da der Kreis 1296000″ umfaßt, worin 300″, wie man sieht, 4320mal enthalten sind. Das ist gleich 360 · 12.

Viel merkwürdiger gestaltet sich die Sache für die Bewegung im Epicykel. Teilt man nämlich die in Sekunden gegebene Geschwindigkeit in 1296000, so bekommt man für T_e fast genau 365 Tage. Länger fortgesetzte Beobachtungen haben ergeben, daß die mittlere Umlaufszeit des Jupiter in seinem Epicykel genau gleich der Länge des tropischen Jahres ist.

Man kann das noch aus einer andern Thatsache entnehmen. Stellt man für alle sechs beobachteten Oppositionen die gleichzeitigen Sonnenlängen fest, wie sie sich aus den beobachteten RA und Decl der Sonne ergeben haben, so hat man die überraschende Thatsache, daß der Lauf des Jupiter

noch in einer zweiten Beziehung zum Sonnenlaufe steht. Es ist für die angegebenen sechs Zeiten

1891, Sept. 5.	die Länge des ♃	343°,	die der ☉	163°
92, Okt. 12.	„	20	„	200
93, Nov. 18.	„	56	„	236
94, Dez. 22.	„	91	„	271
96, Jan. 24.	„	124	„	304
97, Febr. 23.	„	155	„	335.

Wie man sieht, sind die Längen der beiden Himmelskörper immer genau um 180° verschieden, und der Ausdruck „Opposition", den wir vorhin der Kürze halber gebraucht haben, bekommt nun erst seine wahre Bedeutung. Wenn uns ein Planet am nächsten steht und am schnellsten rückläufig geht, dann ist er stets der Sonne opponiert (gegenübergestellt), und umgekehrt. Das gilt nämlich nicht nur für Jupiter, sondern auch für Mars und Saturn, ferner für die durchs Fernrohr entdeckten Planeten Uranus und Neptun, dann für mehr als 400 kleine Planeten. Nur die Planeten Merkur und Venus machen eine scheinbare Ausnahme, da sie überhaupt nie in Sonnenopposition kommen. Es findet aber bei ihnen ein ganz entsprechendes Verhalten in den Konjunktionen statt, wovon später die Rede sein wird.

Jene merkwürdige Beziehung, daß das Maximum der rückläufigen Geschwindigkeit oder das Minimum des Abstandes von uns immer mit der Opposition zusammenfällt, zieht noch eine weitere nach sich. Es möge die Winkelverschiebung für das Epicykelcentrum C während eines vollständigen synodischen Umlaufes, d. h. von einer Opposition bis zur nächsten, mit α bezeichnet werden. Dann hat dem Früheren zufolge der Planet im Epicykel $360^0 + \alpha$ durchlaufen. Für die halbe Zwischenzeit hat sich EC um $\frac{\alpha}{2}$ gedreht (Fig. 55) und EP um $180^0 + \frac{\alpha}{2}$. Daraus folgt, daß auch nun wieder C und P von uns aus in derselben Richtung stehen; von P aus erscheint nun aber C in derselben Richtung wie E. Diese Stellung wollen wir Konjunktion nennen; merkwürdigerweise fällt sie wieder zusammen mit der Sonnenkonjunktion des Planeten, d. h. es erscheint dann, von uns aus gesehen, der Planet in derselben Richtung wie die Sonne. Allerdings läßt er sich dann nicht beobachten. Man kann ihn aber noch einige Wochen vorher in der Abenddämmerung sehen und einige Wochen nachher im Morgenlichte wieder auffinden. In der Konjunktion ist der Planet am weitesten von uns entfernt und bewegt sich am schnellsten rechtläufig. Die Örter, welche unsere Tafel S. 160 in diesen Lagen angiebt, sind als Ergebnisse der Rechnung und nicht der Beobachtung anzusehen.

* * *

Die Beobachtung der Oppositionen giebt uns, wie vorhin am Beispiele des Jupiter gezeigt, ein einfaches Mittel, die Winkelgeschwindigkeiten v_d und v_e zu bestimmen. Zur vollständigen Kenntnis des Bahnsystems muß man, wie es scheint, auch die Radien r_d und r_e haben; auch für diese läßt sich etwas ermitteln, und zwar durch Beobachtung der Stillstände oder Stationen, wie wir sie oben definiert haben. Es sind die Stellungen, wo die Gesichtslinie die Epicykloide berührt. In Fig. 56 möge[1] O die Erde sein und C das Epicykelcentrum zur Zeit der Station. Es sei nun G der Ort, welchen der Planet im Epicykel zu dieser Zeit einnimmt; während der Planet in dem sehr kleinen Zeitteilchen t den sehr kleinen Weg $GG' = v_e \cdot r_e \cdot t$ zurücklegt, muß sich der Epicykel so weit fortbewegt haben, daß die Linie OG' nach OG kommt, weil dann der Planet nach Ablauf des Zeitteilchens an demselben Orte, nämlich in der Richtung OG, erscheint, also seinen Ort für uns nicht verändert hat; es muß demnach $GCG' = v_e \cdot t$ und $G'OG = v_d \cdot t$ sein. Es ist dann, wenn man die linearen Größen durch Multiplikation mit den Radien (vgl. S. 164[2]) bestimmt hat,

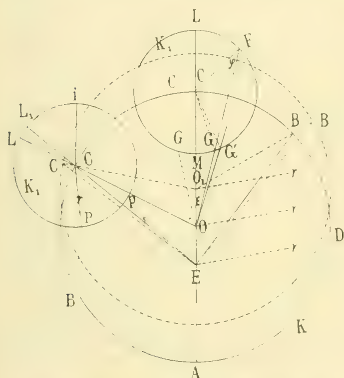


Fig. 56. Möglichkeit des Planetenstillstandes.

$$GG' = r_e \cdot v_e \cdot t = OG' \frac{v_d \cdot t}{\sin FGG'} = OG \frac{v_d \cdot t}{\cos CG'F},$$ weil $CG' \perp GG'$ ist. Daher ist $r_e \cdot \cos CG'F \cdot v_e = OG \cdot v_d$; und da bei zulässiger Vertauschung von G mit G' ferner $r_e \cdot \cos CG'F = \frac{1}{2} GF$ ist, so wird $\frac{1}{2} GF : OG = v_d : v_e$.

Es kann GF, wo G auch liegen möge, keinen größern Wert erlangen als ML oder $2r_e$; OG keinen kleinern als OM oder $r_d - r_e$. Daraus folgt, daß, wenn $\frac{r_e}{r_d - r_e} < \frac{v_d}{v_e}$ wäre, kein Rücklauf beobachtet werden könnte; für $\frac{r_e}{r_d - r_e} = \frac{v_d}{v_e}$ fielen Stillstand und Opposition zusammen. Bei den

[1] Diese Figur, wie auch die analytische Fassung der von Apollonius herrührenden Ableitung für die Möglichkeit des Rücklaufs entnehmen wir der Abhandlung von N. Herz in Valentiners Handbuch der Astronomie (Breslau, Trewendt).

[2] Die v sind damit in linearem Maße gemessen, z. B. in Kilometern; also nicht, wie bisher, im Winkelmaße.

Planeten ist thatsächlich immer $\frac{r_e}{r_d - r_e} > \frac{v_d}{v_e}$, d. h. es lassen sich immer zwei Stillstände beobachten, einer vor und einer nach dem Rücklaufe. Setzt man $\sphericalangle\, GFC = \varphi$, $GOC = \varepsilon$, ferner das Geschwindigkeitsverhältnis $\frac{v_e}{v_d} = l$, so ist $OG = \frac{r_e \cdot v_e \cdot \cos\varphi}{v_d} = r\, l \cos\varphi$; ferner nach dem Cosinussatze im Dreieck CGO

$$r_d{}^2 = r_e{}^2 + OG^2 + 2\, r_e \cdot OG \cos\varphi = r_e{}^2 + r_e{}^2\, l^2 \cos^2\varphi$$

$$+ 2\, r_e{}^2\, l \cos^2\varphi \text{ oder } \cos^2\varphi = \frac{r_d{}^2 - r_e{}^2}{r_e{}^2 l\, (l + 2)}.$$

$$\sin^2\varphi = 1 - \frac{r_d{}^2 - r_e{}^2}{r_e{}^2 l\, (l + 2)} = \frac{r_e{}^2 l^2 + 2\, r_e{}^2 l - r_d{}^2 + r_e{}^2}{r_e{}^2 l\, (l + 2)}$$

$$= \frac{r_e{}^2 (1 + 2\, l + l^2) - r_d{}^2}{r_e{}^2 l\, (l + 2)} = \frac{r_e{}^2 (1 + l)^2 - r_d{}^2}{r_e{}^2 l\, (l + 2)}$$

$$= \frac{[r_e (1 + l) + r_d]\,[r_e (1 + l) - r_d]}{r_e{}^2 l\, (l + 2)}.$$

Setzt man noch $\frac{r_d}{r_e} = m$, nachdem man den letzten Bruch durch $r_e{}^2$ gekürzt hat, so wird $\sin^2\varphi = \frac{(1 + l + m)(1 + l - m)}{l\, (l + 2)}$, und $\sin\varphi$ wird gleich der Quadratwurzel aus diesem Bruche. Wendet man endlich auf das Dreieck CFO den Sinussatz an, so hat man $\sin\varepsilon = \frac{r_e \sin\varphi}{r_d} = \frac{\sin\varphi}{m}$, also

$$\sin^2\varepsilon = \frac{\sin^2\varphi}{m^2} \text{ oder } \sin^2\varepsilon = \frac{(1 + l + m)(1 - l - m)}{m^2 l\, (l + 2)};$$

$$(1 + l)^2 - m^2 = m^2 l\, (l + 2) \sin^2\varepsilon.$$

Kennt man l aus der Beobachtung der Oppositionen, hat man zur Bestimmung von m nur noch ε notwendig oder den Winkel, um den für uns in den Stillständen der Ort des Planeten vom Orte des Epicykelcentrums abweicht. Im Jahre 1896 war Jupiter am 24. Januar in Opposition mit der Länge 124^0; das Epicykelcentrum hatte natürlich dieselbe Länge. Der nächste Stillstand wurde März 24. beobachtet, also (mit Rücksicht auf das Schaltjahr) nach 60 Tagen. Da mußte das Epicykelcentrum etwa die Länge $124^0 + 60 \cdot 300'' = 129^0$ haben; dagegen wurde als geocentrische Länge des Jupiter nur 119^0 beobachtet; es ist also ε etwa $= 10^0$, $\sin^2\varepsilon = 0{,}03$. Da ferner $l = 12$ ist, hat man auf Grund der letzten Gleichung:
$169 - m^2 = 12\, m^2 \cdot 14 \cdot 0{,}03$; $169 = m^2 (1 + 5{,}04) = 6{,}04\, m^2$; $m^2 = \frac{169}{6{,}04}$; $m = \frac{13}{2{,}46} = 5{,}3$. Wir haben also durch eine rohe Überschlagsrechnung gefunden, daß für den Jupiter der Radius des Epicykels 5,3mal in dem des Deferenten enthalten ist. Genauere Rechnungen und fortgesetzte Beobachtungen ergeben 5,2.

Über die wahre Größe der beiden Radien können wir freilich noch nichts ermitteln. Das ist auch von vornherein klar. Denken wir uns

nämlich irgend eine der drei Figuren 54, 55, 56 in vergrößertem Maßstabe hergestellt, so bleiben alle Richtungen dieselben, und so bleibt auch der Gang der Beobachtungen unverändert, die ja nur Richtungen ergeben können.

* * *

Sprechen wir das Ergebnis der epicyklischen Theorie noch einmal aus, wiederum zunächst ohne Rücksicht auf die Planeten Merkur und Venus, deren Bahnen sich später leicht in die Theorie einfügen lassen. Für jeden Planeten läßt sich ein um die Erde beschriebener Deferent annehmen, der in einer gewissen Zeit vom Epicykelcentrum durchlaufen wird. In dem Epicykel läuft der Planet selbst um, und zwar in einer Periode, die bei allen Planeten gleich dem Sonnenjahre ist, während die Umlaufszeit im Deferenten größer, aber bei allen verschieden ist. Das Verhältnis zwischen den Radien des Deferenten und des Epicykels wechselt gleichfalls von Planet zu Planet; es ist immer größer als eins. Die Geschwindigkeit des Umlaufes ist im Deferenten nicht nur dem Winkel nach kleiner als im Epicykel, sondern auch linear.

Für eine erste Näherung genügt die Theorie, um nicht nur die beobachteten Planetenstellungen mathematisch zu deuten, sondern auch, was noch ein besserer Prüfstein ist, zukünftige vorauszusagen. Indessen zeigen sich vielfache Ungleichheiten; so verriet ja schon unser Beispiel vom Jupiter (S. 166 f.), daß die synodischen Umläufe oder die Zwischenzeiten von Opposition zu Opposition keineswegs so konstant sind, wie man erwarten sollte. Die Griechen halfen sich hier mit bewundernswerter Geschicklichkeit, indem sie einmal die Erde excentrisch annahmen, sie also nicht mit dem Centrum des Deferenten zusammenfallen ließen[1]; ferner indem sie auf den einen Epicykel einen zweiten setzten, der seinerseits erst vom Planeten selbst durchlaufen wurde. Um die beobachteten Abweichungen von der Ekliptik darzustellen, genügt es, den ersten Epicykel gegen den Deferenten etwas zu neigen; sonderbarerweise stellt es sich nun bei schärferer Betrachtung heraus, daß man die Neigung gerade so wählen muß, daß die Ebene des Epicykels der Ebene der Ekliptik parallel ist, während der Deferent einen Winkel (bei ♃ z. B. 1°,3) mit ihr macht.

In Verbindung mit den Thatsachen, daß der Epicykel bei allen Planeten in 365 Tagen durchlaufen wird, und daß der größten Annäherung an die Erde stets die Sonnenopposition, seiner größten Entfernung stets die Sonnenkonjunktion entspricht, giebt nun diese Wahrnehmung einen Wink, wie

[1] Das deutet Fig. 56 (S. 169) an, doch verbieten die unserem Buche gesetzten Grenzen ein näheres Eingehen darauf.

wir den scheinbar so verwickelten Planetenlauf weit einfacher als durch die epicyklische Lehre erklären können. Wir brauchen nur anzunehmen, daß sich die Erde und die Planeten um die Sonne bewegen, und alles deutet sich viel natürlicher ohne Epicykel. In Fig. 57, die ein Gegenstück zu Fig. 55 bildet, stellt S die Sonne dar, um die sich in einem kleinern Kreise die Erde E, in einem größern der Planet P bewegt. Wie in dem ptolemäischen, so gehen auch in diesem coppernicanischen System alle wahren Bewegungen für den europäischen Beobachter gegen den Zeigerlauf. Wir wollen die Sache zunächst analytisch betrachten. Durch S wird wieder ein rechtwinkliges Koordinatensystem gelegt, und wie bei Fig. 55 nehmen wir an, daß beim Beginn der Beobachtungsreihe die beiden beweglichen Punkte auf der X-Achse stehen, nämlich der Planet in P_o, die Erde in E_o. So müssen wir nämlich die Erde stellen, um zu berücksichtigen, daß der Planet in Sonnenkonjunktion erscheint. Die Erde steht also auf der negativen X-Achse in demselben Augenblicke, da nach der andern Theorie der Planet in dem beweglichen Koordinatensystem auf der positiven X-Achse steht.

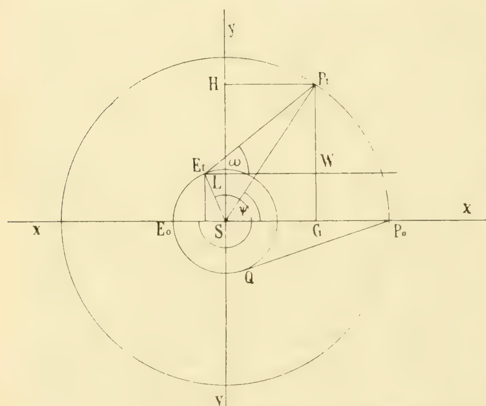


Fig. 57. Bewegung im coppernicanischen System, analytisch betrachtet.

Nun geht der Planet weiter und ist nach t Tagen in P_t angelangt; es ist der Drehungswinkel $\varphi = v_d\, t$, wenn v_d die Winkelgeschwindigkeit des Planeten ist. Wie man sieht, spielt hier der Planet dieselbe Rolle wie vorhin das Epicykelcentrum. Seine Koordinaten zur Zeit t sind

$$x_d = r_d \cos \varphi = r_d \cos v_d\, t;\; y_d = r_d \sin \varphi = r_d \sin v_d\, t,$$

wenn r_d der Radius der Planetenbahn ist.

Die Koordinaten der Erde sind in ähnlicher Weise zu finden. In der Zeit t ist diese nach Zurücklegung des langen Bogens $E_o\, E_t$ (gegen den Zeigerlauf!) in E_t angekommen; er ist $\measuredangle\, E_t S E_o = v_e \cdot t$, wenn v_e die Winkelgeschwindigkeit der Erde ist. Da nun im Anfange die Erde in E_o mit der positiven X-Achse den $\measuredangle\ 180^0$ machte, ist dieser Winkel jetzt auf $180^0 + v_o\, t$ gewachsen, und die Erde hat die heliocentrischen Koordinaten.

$$x_e = r_e \cos(180^0 + v_e t) = -r_e \cos v_e t; \; y_e = r_e \sin(180^0 + v_e t) = -r_e \sin v_e t,$$

wo r_e der Erdbahnradius ist.

Welche Koordinaten x und y hat nun der Planet in Bezug auf die Erde, d. h. in einem geocentrischen System, dessen bewegliche Achsen beständig den beiden festen Achsen parallel sind? Wenn x_d und x_e positiv sind, der Planet und die Erde also rechts von der Y-Achse stehen, so ist ohne weiteres klar, daß $x = x_d - x_e$ sein muß. Es ist leicht, die algebraische Richtigkeit dieser Gleichung auch für den Fall darzuthun, wo beide Körper links von der Y-Achse stehen oder der eine rechts und der andere links. Dasselbe gilt bei der andern Koordinate, so daß wir allgemein haben: $x = x_d - x_e$; $y = y_d - y_e$. Mit Bezug auf die vorhin abgeleiteten Werte giebt das:

$$x = r_d \cos v_d t + r_e \cos v_e t; \; y = r_d \sin v_d t + r_e \sin v_e t.$$

Das sind aber genau dieselben Ausdrücke, die wir vorhin (S. 165) für die Koordinaten des Planeten in Bezug auf ein durch die Erde gelegtes Achsenkreuz gefunden haben. Damit werden auch die weitern Ausdrücke identisch; für den Winkel ω, den die Richtung zum Planeten mit der X-Achse macht, erhalten wir wieder

$$\tan \omega = \frac{y}{x} = \frac{r_d \sin v_d t + r_e \sin v_e t}{r_d \cos v_d t + r_e \cos v_e t}.$$

Dabei thut es nichts, daß wir jetzt keine feste Achse haben, sondern die bewegliche $E_t W$; denn die Richtung wird ja doch auf unendlich ferne Punkte bezogen. Für den Abstand des Planeten von der Erde erhalten wir wieder

$$u^2 = x^2 + y^2 = (r_d \cos v_d t + r_e \cos v_e t)^2 + (r_d \sin v_d t + r_e \sin v_e t)^2.$$

Führt man rechts die Rechnung aus, so wird

$$u^2 = r_d{}^2 + r_e{}^2 + 2 r_d r_e \cos(v_e t - v_d t),$$

wie man auch direkt aus dem Kosinussatze der ebenen Trigonometrie hätte ableiten können; denn es ist $\measuredangle E_t S P_t = v_e t - v_d t - 180^0$.

Das Ergebnis unserer Betrachtung ist dieses, daß das heliocentrische System des Coppernicus den scheinbaren Planetenlauf ebenso richtig wiedergiebt wie das geocentrische, das nach Ptolemäus benannt wird. Mit den geringen Abweichungen beider Systeme von der Wahrheit wollen wir uns hier noch nicht beschäftigen; es mag nur bemerkt werden, daß im ptolemäischen System der Deferent gegen die Ekliptik geneigt ist, während der Epicykel immer zu ihr parallel bleibt; im coppernicanischen dagegen, wo die Ekliptik die Ebene der Erdbahn ist, haben wir nur die Bahnebene des Planeten gegen die Erdbahnebene zu neigen, der Epicykel fällt weg. (Vgl. S. 171.)

* * *

Auch durch eine einfache rein geometrische Betrachtung kann man sich von der Richtigkeit der coppernicanischen Auffassung überzeugen, oder vielmehr von ihrer geometrischen Gleichwertigkeit mit der ältern Annahme. Unsere Fig. 58 stellt, ausnahmsweise für einen Beobachter auf der Südhalbkugel, die Bahnen der Erde A und eines Planeten B dar. Sie projicieren sich auf die Sphäre C, die wir uns in unendlicher Entfernung denken. Ist die Erde in A_1, so ist der Planet in B_1, und wir sehen ihn in C_1; ähnlich für die andern Punkte.

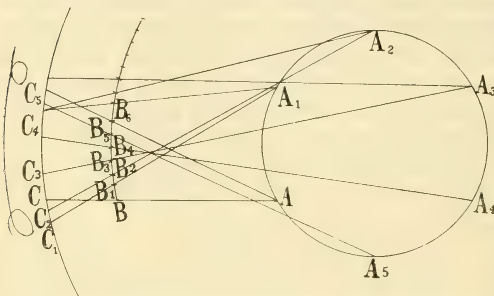


Fig. 58. Bewegung im coppernicanischen System, geometrisch betrachtet.

Wandert also die Erde den Weg $A A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A$ ... und der Planet den Weg $B B_1 B_2 B_3 B_4 B_5 B_6$ ..., so sieht man, wie sich die Gesichtslinie abwechselnd rechtläufig (hier mit dem Zeiger) und rückläufig dreht.

Der Epicykel kann geradezu als ein Spiegelbild der Erdbahn aufgefaßt werden, das wir in weiter Ferne zu sehen bekommen. Ist in Fig. 59 S die Sonne und der ausgezogene Kreis die Erdbahn, so steht die Erde zuerst in A, nach zwei Monaten in B u. s. w. In irgend einem von diesen Zeitpunkten, z. B. wenn wir in A sind, stehe ein Planet in P. Es ist dann AP die Gesichtslinie; wenn wir aber die Bewegung der Erde leugnen, müssen wir uns in das Centrum des Kreises versetzen und die Linie Sa für die Gesichtslinie halten, da sie mit der wirklichen durch denselben unendlich fernen Punkt geht. Offenbar kommt das darauf hinaus, daß wir den Planeten nach a versetzen; sind wir in B, so versetzen wir ihn in derselben Weise nach b u. s. w. In jedem Falle wird bei der epicyklischen Annahme der Planet in dieselbe Richtung und offenbar auch in dieselbe Entfernung versetzt wie bei der coppernicanischen. Zugleich sieht man, daß die epicyklischen Schwankungen bei entferntern Planeten kleiner werden, und endlich, daß sie auch für die in der Ekliptik stehenden Fixsterne stattfinden müssen, wenn sich wirklich die Erde um die Sonne bewegt. In der That, der Punkt P muß den Epicykel auch dann zu be-

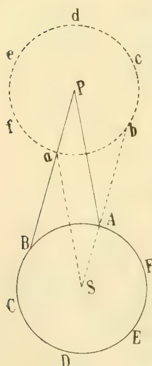


Fig. 59.
Der Epicykel als Spiegelbild der Erdbahn.

schreiben scheinen, wenn er fest ist, und seine größte scheinbare Winkelentfernung von dem mittlern Orte PS wird sich dann desto kleiner herausstellen, je weiter der Stern entfernt ist; nennen wir sie χ, so wird $\sin \chi = \frac{r}{R}$ sein, wo r der Erdbahnradius und R der Abstand des Fixsternes von der Sonne ist. Wie oben (S. 155—156) erwähnt, läßt sich bei einigen Fixsternen die Jahresparallaxe beobachten. Diese Parallaxe ist offenbar in jedem Augenblicke gleich dem Winkel Stern-Sonne-Erde, der bei den meisten Fixsternen verschwindend gering zu sein scheint. Die Jahresparallaxe der Planeten ist nichts anderes als die Abweichung des geocentrischen Ortes vom heliocentrischen, in Fig. 57 (S. 172) die Winkeldifferenz $\omega - \psi$, die dort zufällig negativ, d. h. nach der Seite des Rücklaufes zu rechnen ist.

* * *

Für die Planeten Merkur und Venus, die wir bisher ausgeschlossen haben, ist der Deferent kleiner als der Epicykel; der Radius des Deferenten beträgt nämlich für ☿ 0,39, für ♀ 0,72 vom Epicykelradius. Die Umlaufszeit im Deferenten beträgt bei ☿ 88, bei ♀ 225 mittlere Tage; die im Deferenten ist wieder gleich dem Sonnenjahre. Einfacher ist es hier nun, den in 365^d durchlaufenen größern Kreis als Deferenten anzusehen; sachlich ist das gleichgültig, weil man in der Summe $r_d \cdot \cos v_d t + r_e \cdot \cos v_e t$ und der entsprechenden andern Summe offenbar die Summanden vertauschen kann. Dann stellt sich die Sache so: Im ptolemäischen System läuft die Sonne in 365^d um die Erde, und um die Sonne, die als Epicykelcentrum dient, kreist in 88 [225] Tagen der Planet Merkur [Venus] in einem Epicykel, dessen Radius 0,39 [0,72] vom Sonnenbahnradius beträgt. Im coppernicanischen System laufen die Planeten in eben diesen kleinen Kreisen um die Sonne, und die Erde umkreist in ihrer größern Bahn, die jene beiden einschließt, den Sonnenball gleichfalls. Sofort sieht man, daß Oppositionen hier nicht stattfinden können. Ist nämlich in der epicyklischen Theorie E (Fig. 55, S. 163) die feste Erde, C die Sonne, welche sie in der größern Bahn umkreist, P der Planet, der in einem Epicykel um die Sonne läuft, so kann für den irdischen Beobachter der Planet niemals der Sonne gegenüberstehen; der größte Winkel, den die Richtungen zum Planeten und zur Sonne miteinander machen können, ist offenbar der Winkel $C_0 EQ$, den die Tangente mit der Centralen macht. Es können also Merkur und Venus niemals abends auf- und morgens untergehen; jeder von ihnen hält sich stets als Morgenstern (für uns rechts) oder Abendstern (links) in der Nähe der Sonne. Dagegen sind nun zwei Arten der Sonnenkonjunktion möglich, indem der Planet sowohl vor als auch hinter der Sonne stehen kann. Die heliocentrische Auffassung giebt dasselbe Resultat. Denn bedeutet der innere Kreis (Fig. 57, S. 172) die Merkursbahn, der äußere die Erd-

bahn, so ist SP_0Q, dessen Gleichheit mit $\sphericalangle\, C_0EQ$ der Fig. 55 einleuchtet, wieder die größte Sonnenelongation, die Merkur erreichen kann; und auch hier giebt es keine Opposition, wohl aber zwei Konjunktionen, die obere, wenn Merkur hinter der Sonne, die untere, wenn er vor ihr steht. Von Venus gilt dasselbe.

Bei diesen beiden Planeten ist die Abhängigkeit von der Sonne so offenkundig, daß sie zur Aufstellung einer vermittelnden Ansicht geführt hat, des sogen. tychonischen Systems. Hiernach kreisen nicht nur Merkur und Venus, sondern auch die andern Planeten um die Sonne, die ihrerseits um die Erde läuft. Läßt sich das für die genannten Planeten noch denken, so wird es doch für die übrigen eine seltsame Annahme, da hier die Radien alle größer als der Sonnenbahnradius sein müßten. Streng geometrisch läßt sich freilich auch dieses System verteidigen. Übrigens hat es kaum jemals nennenswerten Anhang gefunden.

Da die Sonne größer ist als die Erde (vgl. S. 103—104) und der jährliche scheinbare Sonnenlauf durch eine Bewegung der Erde gleich gut erklärt werden kann, andererseits die Bewegungen der 400 Planeten coppernicanisch einfacher zu erklären sind als ptolemäisch, indem man doch lieber 400 Bahnen annimmt als 400 Deferenten nebst 400 Epicykeln, die trotz ihrer weiten räumlichen Entfernung alle in je 365^d durchlaufen werden und in parallelen Ebenen liegen sollen — so werden wir schon jetzt dem coppernicanischen System den Vorzug geben vor dem ptolemäischen und auch vor dem tychonischen. Geometrisch mit jenem Systeme gleichwertig, müssen sie doch nach allen Regeln der Wahrscheinlichkeit thatsächlich als minderwertig gelten. Es kommt bezüglich des ptolemäischen Systems hinzu, daß Bewegungen nur erdachter, nicht mit Massen erfüllter Punkte der Mechanik im ganzen unbekannt sind. Trotz alledem werden wir uns nach strengern Beweisen für das heliocentrische System umsehen müssen, da es ein zu gewaltiger Schritt ist, der Erdkugel, die als Bild der Festigkeit angesehen wird, neben der schnellen Achsendrehung eine noch ungleich geschwindere Umlaufsbewegung zuzumuten.

Sechzehntes Kapitel.

Optische Beweise für die Richtigkeit des coppernicanischen Systems. — Aberration. — Entfernung und tägliche Parallaxe der Sonne und der Planeten. — Jährliche Parallaxe der Fixsterne.

Wie wir im vorigen Kapitel gesehen haben, läßt sich die scheinbare Bewegung eines Planeten aus zwei Kreisbewegungen zusammensetzen. Während die Winkelgeschwindigkeiten dieser Bewegungen im heliocentrischen System einfach ebenso groß herauskommen wie im geocentrischen, zeigt sich in Bezug auf

die Radien der beiden in Betracht kommenden Kreise doch ein kleiner Unterschied. Das ptolemäische System gestattet uns die Ableitung des Verhältnisses $\frac{r_a}{r_e}$ zwischen den Radien des Deferenten und des Epicykels. Über die wahre Größe dieses Kreises kann es nichts aussagen (vgl. S. 170—171). Dagegen nimmt das coppernicanische System zwar auch für jeden Planeten zwei in Betracht zu ziehende Radien r_a und r_e an, deren Verhältnis ebenso groß gefunden wird wie bei dem andern System; es fügt aber die wichtige Behauptung hinzu, daß der Radius r_e für alle Planeten derselbe ist, weil er eben kein anderer ist als der Radius der Erdbahn. Gäbe es ein Mittel, den Radius r_e für verschiedene Planeten linear auszumessen, so hätte man damit ein gewisses Kriterium gewonnen, um zwischen den beiden Systemen zu entscheiden. Im coppernicanischen muß man immer denselben Radius bekommen; im ptolemäischen ist das nicht nötig, und wenn es doch stattfände, würde man das, wie so manche andere Analogien, als einen merkwürdigen Zufall anzusehen haben.

Ein Mittel, um die Frage zu entscheiden, besitzen wir in der That. Die Physik lehrt uns, daß sich das Licht, welches von den verschiedensten irdischen Lichtquellen ausgeht, immer mit derselben Geschwindigkeit durch den Raum fortpflanzt (vgl. S. 87). Andererseits zeigt die Beobachtung, daß das Licht der Himmelskörper von dem irdischen nicht wesentlich verschieden ist; es ist also zu vermuten, daß es sich auch mit derselben Geschwindigkeit von etwa 30 000 myriom durch den Raum ausbreiten wird. Nun ist bereits der Mond so weit von unserer Erde entfernt, daß sein Licht mehr als eine Sekunde gebraucht, um zu uns zu gelangen. Man wird annehmen dürfen, daß das Sonnenlicht mehr als eine Minute braucht, da die Sonne viel weiter entfernt ist als der Mond (vgl. S. 103). Die epicyklische und die coppernicanische Theorie nehmen nun in gleicher Weise an, daß die Entfernung eines Planeten von der Erde einem beständigen Wechsel unterliegt; und der Wechsel seines Glanzes, besonders aber seines scheinbaren Durchmessers, wie ihn das Fernrohr auszumessen gestattet, fügt sich gut in beide Systeme, ohne zwischen ihnen eine Entscheidung zu ermöglichen. Sehen wir wieder einmal von der Neigung der Ebenen ab, lassen also alle Planeten einfach in der Ebene der Ekliptik laufen, so sieht man leicht, daß jeder Planet in der Sonnenkonjunktion seine größte Entfernung von der Erde hat, nämlich $r_a + r_e$, in der Sonnenopposition die kleinste, $r_a - r_e$. Für die Zwischenzeiten kommen mittlere Werte heraus, die sich nach den früher gegebenen Formeln (S. 165 u. 173) berechnen lassen. Könnte man z. B. auf dem Jupiter eine Taschenuhr[1] auf-

[1] Von einer Pendeluhr könnte gar nicht die Rede sein, weil auf dem Jupiter, wie sich später zeigen wird, eine andere Schwerkraft herrscht. Allerdings würde in etwa auch der Gang einer Taschenuhr darunter leiden.

stellen und sie von der Erde aus beobachten, so würde man zunächst bemerken, daß die vorher auf der Erde regulierte Uhr erheblich nachginge. Denn das Licht gebraucht eine meßbare Zeit, um die Entfernung zurückzulegen; wir sähen also nicht die gegenwärtige, sondern eine vergangene Zeit durch die Uhr angegeben. Dieser Fehler würde aber selbst veränderlich sein, am kleinsten in der Opposition, wo uns (nach Ptolemäus und Coppernicus) der Planet am nächsten ist; am größten in der Nähe der Konjunktion, sofern er da noch beobachtet werden kann. Offenbar ist die Verspätung, die Lichtzeit, einfach der Entfernung proportional. Der Ausdruck für das Quadrat der Entfernung,

$$u^2 = r_d{}^2 + r_e{}^2 + 2\, r_d\, r_e \cos (v_e t - v_d t),$$

den wir S. 173 abgeleitet haben, läßt sich noch etwas vereinfachen. Wenn man beachtet, daß für Jupiter die Beobachtung der Stillstände nach beiden Theorien $\frac{r_d}{r_e} = 5{,}2$ ergeben hat[1], so erhält man:

$$u^2 = r_e{}^2 \left[5{,}2^2 + 1 + 2 \cdot 5{,}2 \cos (v_e t - v_d t)\right]$$
$$= r_e{}^2 \left[28 + 10{,}4 \cos (v_d t - v_e t)\right] = r_e{}^2 (28 + 10{,}4 \cos \vartheta),$$

wenn der Winkel $v_e t - v_d t = \vartheta$ gesetzt wird. — Wir können nun freilich keine Uhr auf den Jupiter bringen, es ist aber dort bereits eine solche vorhanden. Jupiter wird von fünf Monden umkreist; in den Bewegungen dieser Gestirne um ihren Centralkörper ist ein sehr guter Zeitmesser gegeben. Die vier äußern Monde erfahren häufig Verfinsterungen, indem sie in den Schatten des von der Sonne beleuchteten Planeten geraten. Allerdings können wir die Ein- und Austritte nicht in allen Stellungen Jupiters, also nicht bei allen Werten des Winkels ϑ wahrnehmen, aber doch bei hinreichend vielen, um eine wichtige Thatsache zu erkennen, nämlich daß die Beginne und Ausgänge der Verfinsterungen nur dann durch eine regelmäßige Bewegung der Monde zu erklären sind, wenn man ein der Entfernung Jupiters von der Erde genau entsprechendes verspätetes Eintreffen der Lichteindrücke bei uns voraussetzt. Hat man, wenn ϑ den bestimmten Wert ϑ_1 hatte, mehrmals Finsterniseintritte beobachtet und daraus eine bestimmte Periode abgeleitet, so zeigt sich, wenn man später, wo ϑ den Wert ϑ_2 hat, die Beobachtungen wieder aufnimmt, ein gegen die Rechnung verspätetes oder verfrühtes Eintreffen der Erscheinungen, je nachdem die Entfernung größer oder kleiner geworden ist. Heißen die Entfernungen u_1 und u_2, so hat man

$$u_1 = r_e \sqrt{28 + 10{,}4 \cos \vartheta_1},$$

$$u_2 = r_e \sqrt{28 + 10{,}4 \cos \vartheta_2},$$

$$u_2 - u_1 = r_e \left(\sqrt{28 + 10{,}4 \cos \vartheta_2} - \sqrt{28 + 10{,}4 \cos \vartheta_1}\right).$$

[1] Vgl. S. 170.

Die Klammergröße kann positiv oder negativ sein, was eine Verspätung oder Verfrühung bedeutet. Andererseits hat für diese Verspätung oder Verfrühung der Beobachter noch einen weitern Ausdruck gefunden. Sie möge gleich n Sekunden sein, d. h. um so viel mögen die Beobachtungen in der neuen Lage von denen in der alten abweichen. Da wir nun (vgl. S. 87) wissen, daß das Licht in der Sekunde etwa 29990 myriom zurücklegt, haben wir $u_2 - u_1 = 29990\,n$, oder auch

$$\frac{r_e}{29990} = \frac{n}{\sqrt{28 + 10{,}4 \cos \vartheta_2} - \sqrt{28 + 10{,}4 \cos \vartheta_1}}.$$

Die rechts vorkommenden Buchstabengrößen sind bekannt, die ϑ aus der fortgesetzten Beobachtung des Jupiter und ihrer geometrischen Interpretation nach Ptolemäus und Coppernicus, n durch die Finsternisbeobachtungen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, den Radius r_e in Myriometern zu messen. Nach Coppernicus ist das der Radius der Erdbahn, nach Ptolemäus der Radius des Jupiter-Epicykels. Die fortgesetzten Beobachtungen der Finsternisse der Jupitermonde haben nun ergeben, daß der mittlere[1] Wert von r_e gleich 498×29990 myriom, also gleich 14,9 Millionen myriom ist; 498^s braucht das Licht zum Durchlaufen der Strecke r_e.

Eine gewaltige Strecke! Und doch müssen wir den andern Radius r_d, und zwar in beiden Theorien gleichmäßig, über fünfmal so groß als jenen annehmen. Nun werden auch die Planeten Mars, Saturn, Uranus und Neptun von Monden umkreist; leider sind hier die Verhältnisse für die Beobachtung der Finsternisse weit ungünstiger. Dafür bieten alle genannten Planeten nebst dem Jupiter selbst das Schauspiel einer gleichmäßigen Achsendrehung, die uns offenbar ebenfalls den Dienst einer Uhr leisten kann. Es hat sich gezeigt, daß die Fleckenverschiebungen auf Mars, Jupiter und Saturn dann am besten durch regelmäßige Rotationen erklärt werden können, wenn man die Lichtzeiten in Rücksicht zieht, die Entfernungen zu diesem Behufe in ähnlicher Weise wie bei Jupiter berechnet und dabei annimmt, daß der Radius r_e in 498^s durchlaufen wird. Die gleiche Größe der Epicykel dieser Planeten wird damit sehr wahrscheinlich gemacht. Beim Mars kreisen übrigens die Monde selber schnell genug, um auch ohne die Verfinsterungen, wie sie sich bei Jupiter beobachten lassen, eine Messung von r_e durch das Licht zu ermöglichen.

Die hiernach sehr wahrscheinlich genau übereinstimmende Größe der Epicykel von Mars, Jupiter und Saturn ist im geocentrischen Systeme so wenig zu erklären wie die mehrerwähnten sonstigen Beziehungen dieser Kreise

[1] Die Größe r_e ist etwas veränderlich. Die ptolemäische Theorie kann das nur durch neue Epicykel erklären, die coppernicanische erklärt es einfach durch die Ellipticität der Erdbahn. Vgl. S. 66. 191 ff.

zu einander und zur Sonnenbahn. Indem das heliocentrische System einen einzigen Kreis an deren Stelle setzt, sieht es in jenen Übereinstimmungen eine einfache geometrische Notwendigkeit.

* * *

Obgleich wir wieder einen starken Wahrscheinlichkeitsgrund für die jährliche Bewegung der Erde gefunden haben, wollen wir uns doch nach strengern Beweisen umsehen. Offenbar wären die vorigen Betrachtungen einfacher gewesen, wenn sich die Verfinsterungen nicht in der Nähe von Planeten abspielten, die sich jedenfalls selbst bewegen, sondern in der Nähe von Fixsternen, wo wir zudem den Vorteil einer unermeßlich großen Entfernung haben. In den Figuren 55 und 57 (S. 163 u. 172) denken wir uns auf der linken Seite einen Fixstern, der genau der unendlich ferne Punkt der negativen X-Achse sein soll. Seine Strahlen sind als parallel anzunehmen, und so wird es klar, daß ein Strahlenbündel, das zu gewisser Zeit von dem Fixstern ausgeschickt ist, zu gleicher Zeit die ganze Y-Achse trifft, zu einer andern Zeit alle Punkte auf irgend einer Parallelen zu dieser Achse. Die Zeit des Eintreffens der Fixsternstrahlen hängt einfach von der X-Koordinate des Beobachters ab. Wenn dieser, nämlich die Erde, feststeht, so verspäten sich alle Strahlen um denselben Betrag von N Sekunden, dessen Größe hier gleichgültig ist[1]. Bewegt sich aber die Erde, so werden die N Sekunden in regelmäßigem Wechsel vergrößert und verkleinert; und wenn wir z. B. in der Sonnenopposition des Sternes, wo die Erde in E_0 steht, die Periode der Finsternisse bestimmt haben, nehmen wir in allen andern Stellungen ein verspätetes Eintreffen wahr. Für die feststehende Sonne ist die Periode konstant, weil jede Finsternis um N Sekunden verspätet ist; für die Erde erhalten wir, wenn r_e vom Lichstrahl wirklich in 498^s durchlaufen wird, offenbar die Verspätung

$$n = N + x_e = N - 498 \cos v_e t$$

mit Rücksicht auf den früher abgeleiteten Wert von x. Der Ausdruck für n erreicht in der Konjunktion sein Maximum $N + 498$, in der Opposition sein Minimum $N - 498$, und für irgend zwei Stellungen läßt sich der Unterschied der Verspätungen leicht ermitteln. Ist

$$n_1 = N - 498 \cos v_e t_1 \text{ und } n_2 = N - 498 \cos v_e t_2,$$
$$\text{so ist } n_2 - n_1 = 498 (\cos v_e t_1 - \cos v_e t_2).$$

Steht der Stern nicht genau in der Ebene der Ekliptik, so fallen die Unterschiede geringer aus, und wenn der Stern in einem Pole der Ekliptik steht, d. h. in unermeßlicher Entfernung senkrecht über oder unter der Zeichen-

[1] Wie sich die Eigenbewegung der Fixsterne hier zur Wirkung bringen würde, wird später (Kap. 33) besprochen werden.

ebene, so treffen die Strahlen die ganze Ebene gleichzeitig, so daß überall dieselbe Verspätung N beobachtet wird.

Es giebt nun Fixsterne, die in kurzen Perioden regelmäßige Lichtschwächungen erleiden; man vermutet, daß diese Lichtschwächungen durch umlaufende Planeten hervorgerufen werden, die uns das Fixsternlicht für kurze Zeit teilweise entziehen. Es hat sich bei denjenigen Fixsternen, wo die Lichtschwächungen schnell genug verlaufen, um der Zeit nach genau beobachtet zu werden, herausgestellt, daß die Erscheinungen nur dann in regelmäßige Perioden gebracht werden können, wenn man die Erde als beweglich ansieht und die Beobachtungen auf die Sonne reduziert, d. h. die Zeiten des schwächsten Lichtes umrechnet für einen Beobachter auf der festen Sonne, und hierbei muß man annehmen, daß r_e in 498^s durchlaufen wird. Man könnte allerdings bei der immer noch etwas unvollkommenen Genauigkeit der Beobachtungen mit einem etwas größern oder kleinern Werte auskommen, mit keinem aber besser als mit dem angegebenen. Da es sehr thöricht wäre, anzunehmen, daß etwa der ferne Fixstern samt seinem Satelliten einen Jahresepicykel beschreibe, und zwar wieder mit der Beziehung zwischen Opposition und Erdnähe, und auch noch mit einem Radius wie der Radius des Jupiter- und Marsepicykels, ja auch noch in einer Ebene parallel der Ekliptik; da es ferner erst recht nicht angeht, bei mehr als einem Dutzend von Fixsternen, die doch miteinander und der Sonne nichts zu thun haben, die Annahme zu machen, daß die Ursachen der Lichtschwächungen[1] selbst eine solche periodische Veränderlichkeit des Lichtwechsels bewirkten — so ist für die Bewegung der Erde um die Sonne ein neuer wichtiger Beweis gewonnen.

* * *

Bewegt sich die Erde in einem Kreise von so großem Radius, wie oben (S. 179) berechnet wurde, so muß sie in jeder Sekunde etwa

$$\frac{1\,500\,0000 \cdot 2\,\pi}{86\,400 \times 365^1/_4} \text{ myriom oder etwa 3 myriom}$$

zurücklegen. Diese gewaltig große Geschwindigkeit ist gleichwohl nur der zehntausendste Teil von der des Lichtes. Später, bei der Untersuchung der Natur der Fixsterne, werden wir sehen, daß bei der jährlichen Änderung des Abstandes der Erde von den Fixsternen die Brechbarkeit der stellaren Lichtstrahlen gewisse Änderungen erfahren muß, die man Spektralverschiebungen nennt. Auch diese fügen sich genau der Rechnung, die wir an den Jupitermonden und den veränderlichen Sternen gemacht haben: die Beobachtungen bestätigen innerhalb ihrer Genauigkeitsgrenzen den Jahreslauf der Erde und

[1] Welche Ursachen das sind, kann offenbar gleichgültig sein. Später werden wir uns mit ihnen beschäftigen. Vgl. Kap. 35 und 36.

das Verhältnis 1 : 10 000 zwischen ihrer Bahngeschwindigkeit und der Schnelligkeit des Lichtes. Da man hierbei die Fixsterne mit irdischen Lichtquellen vergleicht, so ergiebt sich noch eine Bestätigung unserer Annahme, daß die Geschwindigkeit aller Lichtarten dieselbe ist; von einem strengen Beweise kann da freilich nicht geredet werden; er wird sich aber sogleich ergeben.

Zu diesem Zwecke wollen wir noch eine weitere merkwürdige Erscheinung kennen lernen, die nur durch die jährliche Bewegung der Erde erklärt werden kann und wie die zuletzt besprochene darauf beruht, daß die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn zur Lichtgeschwindigkeit ein angebbares Verhältnis hat. In unserer Fig. 60, die zur Veranschaulichung des Vorganges dienen soll, erkennt man leicht den Grundriß eines Eisenbahnwagens, der sich auf den Schienen in der Richtung des einen oder des andern Pfeiles bewegen kann. Zielt ein außenstehender Schütze mit seinem Gewehr senkrecht gegen den Wagen, so wird die in a eingetretene Kugel nach Durchbohrung der Wand in b aufschlagen; aber nur dann, wenn der Wagen ruht. Bewegt sich dieser jedoch in der Richtung des untern Pfeiles, so dauert diese Bewegung auch in der kurzen Zeit fort, die die Kugel zum Durchgange durch den Raum E gebraucht; die Kugel wird daher nicht in b, sondern etwa in c aufschlagen. Für einen Beobachter in E hat es deshalb den Anschein, als sei schräg gegen den Wagen gezielt worden, da er in Gedanken die Linie ca nach rückwärts verlängert. Ebenso tritt eine Verschiebung nach d und damit eine vermeintliche Abirrung der Linie

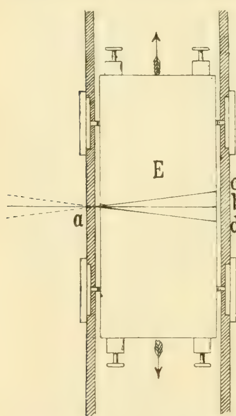


Fig. 60.
Zur Erklärung der Aberration I.

ein, wenn der Zug in der Richtung des obern Pfeiles läuft. Der Beobachter verlängert nun die Linie da nach rückwärts. Will der Schütze den Wagen wirklich senkrecht in der Linie ab durchbohren, so wird er im ersten Falle in der Richtung ad zu zielen haben[1], im zweiten in der Richtung ac; die Verschiebung bewirkt dann das Eintreffen in b. Beträgt die Geschwindigkeit des Wagens[2] $16^2/_3$ m, die des Geschosses 500 m in der Sekunde, so ist tan cab offenbar gleich $16^2/_3 : 500 = {}^1/_{30} = \tan 1^\circ\, 55'$, und ist der Wagen 2 m breit, so findet man $6^2/_3$ cm für die Strecke bc. — Die

[1] Ungefähr wenigstens, und zwar, wie man leicht sieht, weil bei dem in Betracht kommenden Geschwindigkeitsverhältnis ziemlich genau ab = ac ist; der Unterschied ist sehr klein, wie die Anwendung des Pythagoreischen Satzes lehrt.

[2] Wie vielfach bei Schnellzügen auf offener Strecke.

Richtung, in der der scheinbare Ort des Schützen gegen den wahren verschoben erscheint, ist einfach die Fahrrichtung.

Noch ein anderes Bild wollen wir brauchen, das uns der zu besprechenden Sache ein wenig näher bringen wird. Es hat jemand ein großes Stück gerollten Papiers, etwa einen wertvollen Stich, über die Straße zu tragen, da wird er vom Regen überrascht. Will er nun die innere und nach Möglichkeit auch die äußere Seite des Blattes vor dem Wasser schützen, so wird er die Rolle derart halten müssen, daß die senkrecht niedergehenden Tropfen gerade hindurchfallen können. Offenbar darf er sie nicht vertikal halten, vielmehr muß er sie nach vorn neigen, und zwar unter einem kleinen Winkel, dessen Sinus gleich dem Geschwindigkeitsverhältnisse ist.

Ersetzt man die einander parallel fallenden Tropfen durch die parallelen Strahlen eines Fixsternes und das papierene Rohr durch das Fernrohr des Astronomen, so bleibt bei verändertem Geschwindigkeitsverhältnisse doch die geometrische Beziehung in Kraft. Wie jener Mann das Papierrohr AB nach CD (Fig. 61) forträgt, so trägt die Erde in ihrer jährlichen Bewegung das Teleskop weiter. Es verschiebt sich parallel mit sich selbst, wenigstens solange man den Weg des Erdballes als geradlinig ansehen kann. In kurzen Zeiträumen geht das offenbar an, da die Krümmung dieses Weges im Tage erst einen Grad beträgt. Man muß also, wenn man einen Fixstern sehen will, das Fernrohr nicht nach seinem wahren Orte richten, sondern nach einem in der Laufrichtung der Erde verschobenen Orte. Steht die wahre Gesichtslinie senkrecht auf dieser Laufrichtung, so ist der Sinus oder die Tangente des Verschiebungswinkels gleich der Laufgeschwindigkeit der Erde geteilt durch die Geschwindigkeit des Lichtes. Bei schiefer Stellung kommen geringere Werte dieser Aberration oder Abirrung heraus.



Fig. 61. Zur Erklärung der Aberration II.

Auch über den Verlauf dieser Erscheinung während eines Jahres kann man sich Rechenschaft geben. Steht ein Stern in einem Pole der Ekliptik, also senkrecht über oder unter der Ebene der Fig. 57 (S. 172), so sind die Strahlen immer senkrecht zur Laufrichtung; der Stern erfährt also jeden Tag die scheinbare Ortsverschiebung, und zwar nach und nach in allen möglichen Richtungen, d. h. er scheint an der Sphäre einen kleinen Kreis zu beschreiben, dessen Radius der kleine Hauptkreisbogen ist, durch den der Verschiebungswinkel gemessen wird. Steht er in der Ebene der Ekliptik, so ist nur zweimal, bei seiner Sonnenkonjunktion und -Opposition, die Gesichtslinie zur Laufrichtung senkrecht; im übrigen ist der Winkel schief, und außerdem erfolgt die Verschiebung stets in der Ebene der Erdbahn, d. h.

an der Sphäre in dem Hauptkreise, den wir Ekliptik nennen. Der Stern scheint also in einer geraden Linie, deren halbe Länge jener kleine Bogen ist, hin und her zu schwanken. Steht endlich der Stern sonstwie zur Ebene der Erdbahn, so kann man durch ihn und die Ekliptikalpole eine Ebene legen, die in zwei Punkten den Erdbahnkreis senkrecht durchschneidet. Wenn diese Durchschnittspunkte[1] durcheilt werden, hat offenbar die Aberration wieder ihren größtmöglichen Weg; bei allen andern Örtern der Erde werden kleinere Verschiebungen erzielt, die kleinsten auf einem Durchmesser, der zu jener Ebene senkrecht steht; und eine genauere Untersuchung zeigt, daß dann der Stern in einer Ellipse jährlich um den wahren Ort schwanken muß. Unsere Fig. 62 stellt die Erdbahn und die Aberrationsellipse dar. Man erkennt leicht die Ekliptik als Durchschnittskreis der Erdbahnebene mit der Sphäre sowie den kleinern Breitenparallelkreis des Sternes, der die große Achse der Ellipse enthält.

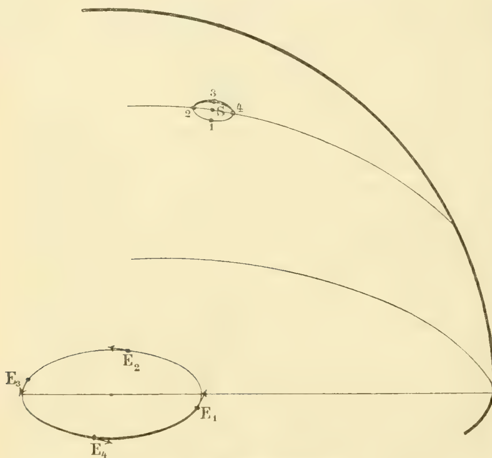


Fig. 62. Aberrationsellipse.

Nun haben wir aus den Erscheinungen der Jupitersmonde auf eine Laufgeschwindigkeit der Erde von etwa 3 myriom geschlossen; andererseits beträgt die Lichtgeschwindigkeit 30 000 myriom. Bezeichnen wir den größten Aberrationswert, also den Radius des kleinen Kreises oder die halbe Länge der kleinen Linie oder die Halbachse der kleinen Ellipse mit dem Buchstaben α, so ist

$$\tan \alpha = 3 : 30\,000 = 0{,}0001; \quad \alpha = 20'',6.$$

Nimmt man die genauern Werte, so ergiebt sich $\alpha = 20'',5$. Das thatsächliche Stattfinden einer solchen Aberration muß als ein äußerst sicheres Kennzeichen für die Richtigkeit des coppernicanischen Systems gelten. In der That, man muß entweder annehmen, daß die vielen Tausende von Fir-

[1] Es sind offenbar dieselben Punkte, die für die vorhin besprochenen veränderlichen Fixsterne die größte und die kleinste Lichtverspätung bedeuten.

sternen, die unausgesetzt von den Astronomen beobachtet werden, wirklich in jedem Jahre die kleinen Ellipsen, Kreise oder Linien beschreiben, die dann durch den gemeinsamen Wert der größten Dimension und der Periode wieder ebenso befremden müßten wie durch die offenkundige Beziehung zur Bahnebene der Sonne und zur Sonnenopposition, oder man muß die Erde um die Sonne gehen lassen. Entdeckt wurde die Aberration zuerst an γ Draconis von James Bradley in Kew bei London, der vom Dezember 1725 bis zum December 1726 diesen Stern zu ganz anderem Zwecke, nämlich zur Auffindung einer etwaigen jährlichen Parallaxe, unausgesetzt beobachtete[1]. Durch eine Parallaxe kann jene Verschiebung trotz der ebensogroßen Periode nicht erklärt werden, wie sich nachher zeigen wird.

Die Astronomen leiten den Wert der Aberrationskonstanten durch direkte Beobachtungen ab; innerhalb gewisser durch die Schwierigkeit der Messungen hinreichend erklärbarer Grenzen stimmt er mit dem berechneten überein. Die Planeten erfahren eine ähnliche Aberration; sie verwickelt sich aber dadurch, daß sich diese selbst bewegen. Ein einfache geometrische Überlegung zeigt, daß man hierbei nur auf die Zeit zurückzugehen braucht, zu der der Lichtstrahl ausgegangen ist, der unser Auge trifft: man berechnet auf Grund der bekannten Entfernung des Planeten und der Bahnelemente (nämlich der Größe l und m auf S. 170), wo der Planet und die Erde zu jener Zeit gestanden haben. Dann ist der durch Aberration verfälschte scheinbare Ort des Planeten zur jetzigen Zeit einfach identisch mit dem wahren Orte, d. h. der wahren Richtung der Verbindungslinie Planet-Erde, zu jener ältern Zeit. Den Beweis müssen wir hier übergehen[2].

Was die optische Theorie der Aberration angeht, so ist sie keineswegs so einfach wie die astronomische. Sieht man mit Newton das Licht an als die Wirkung kleiner Molekeln, womit uns der leuchtende Körper bombardiert, so ist der Vergleich mit dem Attentat auf den Eisenbahnwagen durchaus in der Ordnung. Wenn aber das Licht eine Wellenbewegung des Äthers ist, so stößt man auf einige Schwierigkeiten, da man sich fragen muß, ob und in welchem Maße dieser Lichtäther an der Bewegung der Erdkugel teilnimmt, und wie sich der abirrende Lichtstrahl in den brechenden Mitteln des Fernrohres und des Auges verhält. Da nun die Wellentheorie des Lichtes aus

[1] Die Meridianbeobachtungen geben die R A als Kulminationssternzeit und die Decl mit Hilfe der Kulminationshöhe. Es war damals der Gang der Refraktion (vgl. Kap. 10) noch nicht genau bekannt. Da man aber schon damals wußte, daß sie in der Nähe des Zeniths verschwindend klein ist, wählte Bradley den genannten Stern, welcher für Kew nur 4′ nördlich vom Zenith kulminierte.

[2] Der Vollständigkeit wegen sei nachgetragen, daß es auch noch eine tägliche Aberration giebt, die durch die Rotation der Erde bewirkt wird. Da die größte Schnelligkeit dieser Bewegung (am Äquator) nur 460 m beträgt, ergiebt sich die Konstante dieser Aberration zu 0″,3. Berücksichtigt wird sie bei feinern Beobachtungen auch.

andern Gründen zweifellos die richtige ist, so sind über das Aberrationsproblem schöne und tiefgehende Untersuchungen angestellt worden, auf die hier aber nicht eingegangen werden kann. Thatsache ist, daß die beobachtete Aberration der Fixsterne und Planeten dasselbe Verhältnis zwischen dem Erdbahnradius [1] und der Lichtgeschwindigkeit ergiebt wie die Beobachtung der Rotationen der Planeten, der Umläufe ihrer Monde, des Lichtwechsels der kurzperiodischen veränderlichen Sterne und der Spektralverschiebung bei den Fixsternen überhaupt. Mit Ausnahme der letzten Erscheinung lehren die beobachteten Vorgänge freilich noch nicht die Gleichheit der Geschwindigkeiten von irdischem und stellarem Lichte. Aber auch dafür giebt es Beweise.

* * *

Die tägliche Parallaxe der Sonne ist bekanntlich (vgl. S. 103) wegen ihres geringen Betrages und auch aus sonstigen Gründen direkt viel schwerer meßbar als die des Mondes. Indessen giebt uns die Bewegung der Planeten doch einzelne Mittel zu ihrer indirekten Bestimmung an die Hand. Obschon die wirkliche Anwendung dieser Mittel ohne Rücksicht auf die bisher von uns vernachlässigten kleinern Ungleichheiten des Planetenlaufes nicht wohl möglich ist, sind sie doch grundsätzlich bereits zu verstehen. Sie gründen sich alle auf die mehrbesprochene Thatsache, daß wir den Deferentenradius im ptolemäischen oder den planetarischen Bahnradius im coppernicanischen System, wenn auch nicht dem linearen Betrage nach, so doch in seinem Verhältnisse zum Erd- oder Sonnenbahnradius kennen. Die weitere Betrachtung soll nur mehr in der Sprache des coppernicanischen Systems geführt werden, dessen Richtigkeit durch eine Fülle von Beweisen außer Zweifel gestellt ist. Es bieten sich hauptsächlich drei Methoden dar:

1. Der Radius der Marsbahn ist [2] 1,52mal so groß wie der Erdbahnradius. Sehen wir von der nicht ganz 2° betragenden Bahnneigung ab, so folgt, daß Mars in den Oppositionen nur um 0,52 des Sonnenabstandes von uns entfernt ist [3]. Man hat, wenn man zu diesen Zeiten die Marsparallaxe bestimmt, zwei Vorteile: einmal ist die Stellung der kleinen Planetenscheibe leicht zu bestimmen; sodann ist die Parallaxe viel größer als die der Sonne. Teilt man die aus der Parallaxe gefundene lineare Entfernung durch [4] 0,52, so erhält man offenbar die Entfernung der Sonne von der Erde.

---

[1] Da die Umlaufszeit der Erde gegeben ist, hängt ihre Geschwindigkeit einfach vom Bahnradius ab.

[2] In seinem mittlern Werte; durch die später zu besprechende elliptische Bewegung wird sein wahrer Sonnenabstand beträchtlich geändert.

[3] Im Mittel! Thatsächlich wechseln günstige Oppositionen, wo uns der Planet sehr nahe ist, mit ungünstigen ab. Vgl. Kap. 17.

[4] Oder durch den aus der elliptischen Bewegung beider Körper geschlossenen jeweiligen Betrag.

2. Auch von den kleinen Planeten, deren Bahnradien der Größe nach zwischen denen des ♂ und des ♃ (1,5 und 5,2) liegen, eignen sich mehrere zur Parallarenbestimmung in den Oppositionen. Der kleine Nachteil des etwas größern Abstandes wird reichlich durch den Vorteil aufgewogen, daß diese Himmelskörperchen ihres ungemein geringfügigen wahren Durchmessers halber als unmeßbar kleine Punkte erscheinen, wie die Fixsterne[1].

3. Die sogen. innern Planeten Merkur und Venus gehen in ihren untern Konjunktionen (vgl. S. 175—176) zwischen uns und der Sonne durch. Infolge der Neigung ihrer Bahnebenen gegen die Ekliptik gehen sie hierbei zwar meistens nördlich oder südlich an der Sonne vorbei. Zuweilen kommt es jedoch vor, daß sich der Planet für uns auf die Sonnenscheibe projiciert, wo er natürlich schwarz erscheint, da er uns die unbeleuchtete Seite zuwendet[2]. Für die Bewohner der Erde zieht dann der schwarze Planet[3] eine Sehne über die Sonnenscheibe, und die Größe dieser Sehne fällt je nach dem Standpunkte des Beobachters etwas verschieden aus und läßt damit einen Schluß auf die Planetenparallaxe zu, oder eigentlich auf ihre Differenz mit der Sonnenparallaxe. Da uns Venus näher ist, so sind die seltenen Venusdurchgänge für diese Bestimmung geeigneter als die häufigeren Durchgänge des Merkur.

Alle diese Methoden ergeben nun mit guter Übereinstimmung die Sonnenparallaxe zu etwa 8″,80; gemäß der frühern Erklärung der täglichen Parallaxen ist also $\frac{r}{r_e} = \sin 8'',80 = 0{,}0000427 = 1 : 23400$. Multipliziert man nun den uns bekannten Äquatorradius r von 638 myriom mit 23400, so erhält man dieselbe Sonnenentfernung, wie wir sie aus optischen Gründen mit Hilfe der physikalisch bestimmten Lichtgeschwindigkeit geschlossen haben.

Hierdurch wird die Richtigkeit unserer Annahmen abermals gestützt, und es ist besonders beachtenswert, daß Physik und Astronomie einander hier bestätigen. Der geschichtliche Gang der Erkenntnisse ist dieser gewesen: die Jupitersmonde lieferten die Lichtzeit oder das Verhältnis der Geschwindigkeit der Erde zu der des Lichtes; die Entdeckung der Aberration bestätigte die Zahlen und zugleich die Richtigkeit des coppernicanischen Systems. Die Venusdurchgänge des 18. Jahrhunderts (1761 und 1769) lieferten die Sonnenparallaxe, und da man nun die Sonnenentfernung linear kannte, hatte man auch die Lichtgeschwindigkeit linear. Dem 19. Jahrhundert (vgl. S. 87)

---

[1] Daher der Name Asteroiden. Ἀστεροειδής von ἀστήρ, Stern.

[2] Hier wie oben bei der Betrachtung der Finsternisse der Jupitermonde nehmen wir die später genauer zu besprechende Thatsache vorweg, daß die Körper unseres Systems von der Sonne erleuchtet werden.

[3] In rückläufiger Bewegung, wie man leicht sieht. Die untere Konjunktion entspricht ja der Opposition der äußern Planeten.

war es vorbehalten, dieselbe Größe physikalisch abzuleiten. Damit schließt sich die Beweiskette; auch die Gleichwertigkeit irdischen und stellaren Lichtes (vgl. S. 186, Zeile 9) ist dargethan.

Ab und zu erscheinen noch wohl Schriften, die allen Ernstes das heliocentrische System widerlegen wollen. Ohne ungerecht zu sein, darf man doch aussprechen, daß die Verfasser dieser Bücher Politikern gleichen, die einer Regierung Schwierigkeiten machen aus Ärger, daß sie selbst nicht im stande sind mitzuregieren; mindestens aber Bierbank-Politikern, denen die nötigen Vorbegriffe fehlen, um die Dinge in der großen Welt zu verstehen, und auch der gute Wille, die Leistungen anderer anzuerkennen. Hätten diese Leute die Ruhe gehabt, sich in die wirkliche Beweisführung zu vertiefen, besonders sich den Unterschied zwischen absoluter und relativer Bewegung klar zu machen — sie würden sich vielleicht bescheiden, die Leistungen vergangener und gegenwärtiger Zeiten anzuerkennen oder auch sich an der Mitarbeit im kleinen zu beteiligen. Es ist kein Zweifel, daß die Auflösung der scheinbaren Planetenbahnen in das epicyklische System ein notwendiger Durchgang zur Wahrheit gewesen ist und als eine bedeutende Leistung des Menschengeistes anerkannt werden muß. Ebenso zweifellos ist es aber, daß Hipparch und Ptolemäus, wenn sie wiederkommen und mit den Instrumenten und Rechnungsmethoden der Neuzeit ihre Theorien mit den neuern vergleichen könnten, mit dem Mute der Wahrheitsliebe neidlos gestehen würden: Wir haben uns geirrt, die Sache liegt wunderbarer und doch einfacher, als wir denken konnten.

* * *

Den Haupteinwand, der dem Coppernicus gemacht wurde, daß nämlich die Fixsterne keine jährliche Parallaxe zeigten, hat er selbst bereits mit einem Hinweis auf die unermeßliche Entfernung dieser Himmelskörper beantwortet. Die wirkliche Auffindung der ersten jährlichen Fixsternparallaxe war eine neue Bestätigung des heliocentrischen Systems. Es war Bessel, der aus mehrjährigen mühevollen Beobachtungen die Parallaxe von 61 Cygni zu $0'',3$ bestimmte. Andere Bestimmungen sind später erfolgt. Wir werden uns im 33. Kapitel dieses Buches mit den wahrhaft erstaunlichen Fixsternabständen zu beschäftigen haben, die aus so kleinen Parallaxen folgen. Hier mag noch bemerkt werden, daß infolge der jährlichen Parallaxe jeder Fixstern einen kleinen Kreis um seinen wahren Ort beschreibt, der alle Eigenschaften eines Epicykels hat, nur daß sein Mittelpunkt im Raume feststeht. Der Kreis erscheint gewöhnlich als Ellipse, deren große Halbachse gleich $\frac{r_e}{R}$, d. h. gleich dem Verhältnisse des Erdbahnradius zum Fixsternabstande ist. Man hat dieses Verhältnis als sin, arc oder tan eines Winkels aufzufassen — die Funktion ist bei so kleinen Beträgen gleichgültig — und mit

dem Hauptkreisbogen, der diesem Winkel entspricht, um den wahren sphärischen Ort des Sternes einen Kreis zu ziehen, der der Ebene der Ekliptik parallel ist. Für Sterne in dieser Ebene erscheint dann der Kreis als gerade Linie, für solche in der Breite β als Ellipse mit den Halbachsen p und p. $\sin \beta$, für Sterne in den Ekliptikalpolen in seiner wahren Gestalt. Hiernach scheint dieser Kreis große Ähnlichkeit mit dem Aberrationskreise zu haben; es finden aber zwei sehr wesentliche Unterschiede statt: 1. Die Aberrationsellipse hat für Sterne dieselbe große Halbachse von 20″,45; die parallaktische Ellipse hat verschiedene Halbachsen, je nach dem Abstande der Fixsterne; die größte gemessene ist kleiner als 1″. 2. Die parallaktische Verschiebung muß, wie Bradley schon erkannte, nach einer ganz andern Seite gerichtet sein als die aberrative. Es sei (Fig. 63) E die Erde in ihren verschiedenen Stellungen, S ein Stern nördlich der Ekliptik, für den der Jahreslauf der Erde gegen den Zeiger geht. Die Erdbahn erscheint in unserer perspektivischen Figur stark elliptisch. Sind wir in 1, so versetzen wir den Stern aus seinem wahren heliocentrischen Orte nach 1, d. h. er erscheint parallel der Richtung Erde-Sonne verschoben; ebenso ist die Verschiebung in allen andern Lagen nach der Seite gerichtet, wo die Sonne steht. Das ist bei der Aberration anders: sie verschiebt die Sterne in der Laufrichtung der Erde, also parallel der augenblicklichen Tangente an die Erdbahn (vgl. Fig. 62, S. 184). — Zieht man die beiden Verschiebungen gleichzeitig in Betracht, so kann man sagen, daß um den wahren, heliocentrischen Ort zunächst die Aberrationsellipse als eine Art Deferent beschrieben wird; in diesem läuft das Centrum des Epicykels, nämlich der kleinen parallaktischen Ellipse. Die Umlaufszeit und auch die Gestalt der beiden Ellipsen ist dieselbe.

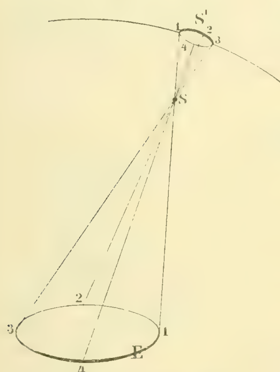


Fig. 63. Parallaktische Ellipse.

Einige neuere Bestätigungen für den Jahreslauf der Erde verdienen noch erwähnt zu werden. Man bemerkt häufig bei klarem Nachthimmel die sogen. Sternschnuppen, die sich rasch über den Himmel zu bewegen scheinen und dann erlöschen. Im Anfange des 19. Jahrhunderts hat man aus gleichzeitigen Beobachtungen die Entfernungen dieser kleinsten Himmelskörper abgeleitet; sie betragen nur bis zu 40 myriom. Da hiermit auch eine Ausmessung der sichtbaren Bahn ermöglicht war, konnte man, wenn die Zeitdauer der Sichtbarkeit (in der Regel höchstens 2^s) bekannt war, die Laufgeschwindigkeiten dieser Meteore berechnen. Sie sind von planetarischer Größe,

d. h. mit denen der Planeten vergleichbar, zwischen 1 und 7 myriom. Die Meteoriten dringen offenbar aus dem Weltraum in unsere Atmosphäre ein und werden durch deren Reibung erhitzt, durch die helle Glut sichtbar gemacht und endlich zerstört. Es ist gelungen, die Bewegungen auch dieser Körper nach Abrechnung der Bewegung der Erde selbst zu berechnen. Ja noch mehr. Viele von diesen Körpern scheinen zu Schwärmen angeordnet zu sein, denen die Erde alljährlich an denselben Stellen begegnet; so sind in der ersten Augusthälfte die Sternschnuppen sehr häufig, und die Richtung, woraus sie zu kommen scheinen, ist von Jahr zu Jahr konstant. Außer diesen Schwärmen giebt es noch sporadische Meteore, die nach allen möglichen Richtungen den Raum zu durchjagen scheinen. Die Erdkugel, welche durch den Weltraum mit seinen Meteoriten fährt, können wir nach Schiaparelli passend mit einer Kanonenkugel vergleichen, die einen Mückenschwarm durchsaust. Auf ihrer vorangehenden Seite erschlägt sie zahlreiche

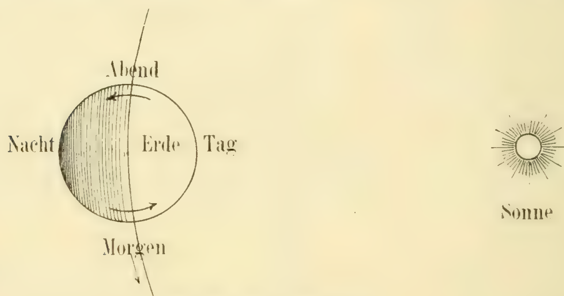


Fig. 64. Apex der Erdenbewegung.

Tierchen, nach der Rückseite zu immer weniger, und eine Mücke, die auf der Rückseite der Kanonenkugel ihr Leben lassen sollte, müßte schon schneller als die Kugel selbst fliegen. Welcher Punkt der rotierenden Erdkugel geht nun in der jährlichen Bewegung voran? Denken wir uns der Kürze halber die Erdachse senkrecht auf der Bahnebene stehend, so liegt (Fig. 64) der Punkt des Äquators, welcher gerade Mittag hat, zur Sonne hingewandt, und die durch Pfeile angedeutete Rotationsrichtung zeigt uns, daß für drei andere Punkte Abend, Mitternacht und Morgen ist. Der Umlauf hält dieselbe Richtung ein, also muß der Punkt des Äquators, der Morgen hat, den meisten Sternschnuppen begegnen, der Abendpunkt bekommt die wenigsten, nämlich nur die, welche die Erde einholen. Die vorangehende Seite der Erde, oder die Tangente an die Erdbahn, weist auf einen Punkt der Sphäre, den man wohl den Apex[1] der Erdenbewegung nennt. Eine leichte Ab-

[1] Das lateinische Wort bezeichnet eine Spitze.

änderung, die sich durch die Schiefe der Ekliptik ergiebt, modificiert die Sache ein wenig für die verschiedenen Polhöhen und Jahreszeiten. In der That beobachtet man nun vom Abend bis zur astronomischen Morgendämmerung (die dem Schauspiele, nicht dem Vorgange selbst ein Ende bereitet) eine fortschreitende Zunahme der Häufigkeit der sporadischen Sternschnuppen.

Eine Gegenwirkung der Weltraumsmaterie auf die rotierende und im Raume fortschreitende Erde scheinen die Bewegungen der leuchtenden Nachtwolken zu verraten, feiner Cirrhusgebilde in der großen Höhe von 82 km, die zuerst in den achtziger und neunziger Jahren des 19. Jahrhunderts von O. Jesse genauer erforscht worden sind. Betreffs der Einzelheiten darüber muß auf geographische und meteorologische Bücher[1] verwiesen werden.

Daß die schnell dahinfahrende Erde doch keine Gegenstände im Raume verliert, beruht nicht nur auf ihrer Anziehungskraft, sondern auch auf dem Trägheitsgesetze. Eine andere Frage ist es, ob nicht eine Centrifugalkraft auftritt. Diese Frage wird später im 20. Kapitel beantwortet werden.

Siebzehntes Kapitel.

Keplers Gesetze. — Sichtbarkeitsbedingungen für den Mars.

Schon im vorigen Kapitel ist bemerkt worden, daß die Verbindung zweier Kreisbahnen, die mit konstanten Winkelgeschwindigkeiten durchlaufen werden, dem scheinbaren Planetengange zwar im allgemeinen genügt, daß aber gewisse Ungleichheiten übrig bleiben. So folgen die Jupiteroppositionen, die wir (S. 166) angeführt haben, nicht genau nach derselben Zwischenzeit aufeinander, wie es doch bei gleichmäßigem Durchlaufen der Kreise stattfinden müßte.

Heute wissen wir, daß die Planeten nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit in Kreisbahnen, sondern mit wechselnder Geschwindigkeit in Ellipsen laufen. Bereits im 8. und 12. Kapitel haben wir die elliptische Bewegung bei der Sonne und dem Monde kennen lernen, und was damals von der Sonne gesagt wurde, übertragen wir jetzt natürlich auf die Erde. Im geschichtlichen Entwicklungsgange der Wissenschaften ist man aber erst spät auf die Kenntnis der Elliptizität der Bahnen gekommen. Heutzutage kann man sie für Sonne und Mond leicht aus regelmäßigen Bestimmungen der scheinbaren Größe im Zusammenhange mit den Ortsbestimmungen herleiten. Vor der Verbindung der Meßwerkzeuge mit dem Fernrohr war das unmöglich, und da man die Kreisbewegung als die einfachste ansah, sie jedenfalls geo-

[1] Vgl. z. B. Jakob, Unsere Erde (2. Aufl., Freiburg, Herder) S. 188—190.

metrisch auch am leichtesten bewältigen konnte[1], so verfiel man zunächst bei der scheinbaren Sonnenbahn darauf, die Erde D (Fig. 65) excentrisch zu stellen. Läuft nun die Sonne mit gleichmäßiger Winkelgeschwindigkeit durch die Punkte $P_1 P_2 \ldots P_{11} P_{12}$, die etwa den Abschlüssen der einzelnen Monate entsprechen, so ändern sich die in der Ekliptik gemessenen Sonnenlängen zwar gleichmäßig für einen Beobachter in dem Centrum C, ungleichmäßig jedoch für den in D stehenden irdischen Beobachter. In P_{12} ist die Sonne in Erdennähe, im Perigäum, und in dieser Gegend scheint sie am schnellsten zu laufen, da, wie man bemerkt, die Winkel $P_{11} D P_{12}$ und $P_{12} D P_1$ je etwa 41^0 groß sind. Es nimmt nun die scheinbare Winkelgeschwindigkeit gleichmäßig ab, und in dem Apogäum oder der Erdenferne der Sonne hat sie ihr Minimum erreicht, jeder von den Winkeln $P_5 D P_6$ und $P_6 D P_7$ ist nur etwa 23^0 groß. Dann wächst die scheinbare Geschwindigkeit wieder bis zum Perigäum. Wie man sieht, ist die Geschwindigkeitsänderung von derselben Art wie die früher (S. 66 u. 108) besprochene; aber es hat sich gezeigt, daß die Bewegung im excentrischen Kreise den Beobachtungen doch nicht genügen kann. Immerhin hilft sie über einen Teil der beobachteten Ungleichheiten hinweg. Man ließ nun auch die Epicykelcentra der Planetenbahnen zwar mit gleichmäßiger Geschwindigkeit in ihren Deferenten laufen, stellte aber die Erde seitlich vom Deferentencentrum. Indem somit aus diesem Centrum z. B. der Jupiterlauf ungleichförmig erscheint, und zwar im Apogäum am langsamsten, erklärt sich leicht, daß die synodischen Umläufe (S. 167) dann am kürzesten sind. Da beim Jupiter der Deferent etwa in 12 Jahren durchlaufen wird, wechselt die Länge des synodischen Umlaufes in dieser Periode vom Minimum durch das Maximum wieder zum Minimum[2].

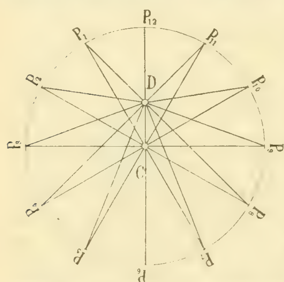


Fig. 65. Bewegung im excentrischen Kreise.

Coppernicus übertrug alles dieses in seine heliocentrische Auffassung und brachte außerdem an dem excentrischen Laufe Verbesserungen an, die ihn zu einer schärfern Darstellung der beobachteten Örter der Sonne und der Planeten befähigten. Ohne kleine Korrektions-Epicykelchen ging es dabei freilich nicht ab.

---

[1] Mit Recht betont R. Wolf diesen zweiten Grund.

[2] Ist für den Fall, daß keine Excentricität vorliegt, T_J der Umlauf des ♃ im Deferenten, T_e das Sonnenjahr, T_s der synodische Umlauf, so ist $\frac{1}{T_s} = \frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_J}$. Die Messungen im Apogäum ergeben eine größere Umlaufszeit, also größere Werte von T_s.

Dem großen Kepler blieb es vorbehalten, den bedeutenden Schritt von der kreisförmigen Bahn zur elliptischen zu wagen. Die Geschichte seiner Entdeckung, zu der ihm die langjährigen genauen Marsbeobachtungen des Tycho Brahe das Material lieferten, ist interessant genug, um hier in den Hauptzügen wiedergegeben zu werden.

Nehmen wir an, daß die Bahnen der Erde und des Mars in einer Ebene liegen [1]. Zu einer gewissen Zeit t_1 möge eine Sonnenopposition des Mars (♂) beobachtet worden sein; die Erde stand dann mit Mars und Sonne in gerader Linie. Wie man weiß, werden in der Ekliptik die Längen vom Frühlingspunkte aus gezählt. Die Richtung nach diesem Punkte wird (Fig. 66) mit ♈ bezeichnet. Der Marsort werde durch ♂, der der Erde [2] durch ♁, der im Raume feste Ort der Sonne durch ☉ bezeichnet. Die beobachtete Länge des Mars, also der Winkel der Linie ♁ ♂ mit der Durchschnittslinie Äquator-Ekliptik, sei gleich α.

Nun kennt man die tropische Umlaufszeit des Mars oder die Zeit, die er für einen solaren Beobachter gebrauchen würde, um alle Längen zu durchlaufen. Denn diese Zeit ist offenbar aus der mittlern scheinbaren Winkelgeschwindigkeit des Mars ganz genau zu bestimmen, sie folgt aus der mittlern synodischen Umlaufszeit, die sich aus den seit Jahrtausenden beobachteten Oppositionen ergiebt, auf Grund einer einfachen Gleichung [3] mit Rücksicht auf die Umlaufszeit der Erde. Der tropische Marsumlauf vollzieht sich hiernach in 686^d,93. Hat man eine größere Beobachtungsreihe, dann ist es leicht, für einen zweiten Zeitpunkt t_2, der sich von dem ersten um eine volle Anzahl von Marsjahren, also um ein Vielfaches von 686^d,93, unterscheidet, die geocentrischen Örter von ♂ und ☉ anzugeben [4].

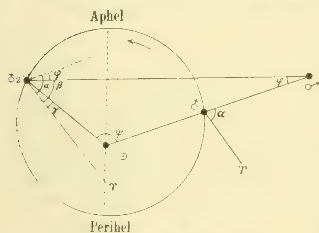


Fig. 66. Zur Marstheorie I.

Zur Zeit t_1 nehmen die drei Himmelskörper die Örter ☉, ♁, ♂ in der Zeichenebene ein. Zur Zeit t_2 steht die Sonne noch immer in ☉, da sie sich nicht bewegt hat; Mars steht wieder in ♂, da er eine volle Anzahl von Umläufen gemacht hat; die Erde aber wird im allgemeinen nicht mehr in ♁ stehen, sondern an einem andern Punkte ihrer Bahn, etwa in ♁$_2$.

---

[1] Der Neigungswinkel von 1° 51′ 1″ hat zum cosinus den Bruch 0,99948; die Projektion der Sonnendistanz des Mars auf die Ekliptikalebene, die sogen. kurtierte Distanz, ist also immer sehr nahe gleich der wirklichen Distanz.

[2] Das Zeichen deutet auf die Erlösungsgeschichte hin. (Vgl. S. 63–64.)

[3] Vgl. S. 167.

[4] Und zwar durch Interpolation aus benachbarten Beobachtungen, wenn zu der angegebenen Zeit selber, etwa wegen ungünstigen Wetters, keine erhalten worden sind.

Von diesem Punkte aus beobachten wir wieder den Mars und die Sonne, indem wir die Winkel der Gesichtslinien mit der Linie zum Frühlingspunkte, also die Längen der Himmelskörper, feststellen[1]. Mars hat jetzt nicht mehr die alte geocentrische Länge α, die der gestrichelten Linie entsprechen würde, sondern eine andere Länge β; die Differenz $\alpha - \beta$ kennen wir also; sie werde mit φ bezeichnet. Der $\sphericalangle\, \varphi$ erscheint als Wechselwinkel bei ♂. Ferner hatte zur Zeit t_1 die Erde heliocentrisch die Länge α, also die Sonne geocentrisch die Länge $\alpha + 180^0$; zur Zeit t_2 beobachten wir eine Sonnenlänge γ, der eine heliocentrische Erdenlänge $\gamma + 180^0$ entspricht. Es hat sich also die Erde in der Zwischenzeit um $\alpha - (\gamma + 180^0)$ oder um $\alpha - \gamma \mp 180^0$ gedreht; der Drehungswinkel heiße ψ.

Die Gestalt des Dreiecks ☉ ♂ ♁$_2$ ist damit bestimmt; wir kennen die Winkel φ und ψ; wenn wir also die Linie ☉ ♂ in beliebiger Größe zeichnen, können wir den Punkt ♁$_2$ konstruieren. Liegt noch eine dritte Beobachtung vor, die wieder um ein volles Vielfaches des Marsjahres von den andern entfernt ist, so erhalten wir einen dritten Punkt u. s. w. So können wir in der Zeichenebene eine größere Anzahl von wahren Örtern der Erde konstruieren; die Gestalt der Erdbahn liegt fest, und da wir die Stellung der Beobachtungsdaten im tropischen Jahre kennen, läßt sich auch die Geschwindigkeit berechnen, womit die Erde diese Bahn durchläuft. Die Ellipse der Erdbahn ist einem Kreise so ähnlich, daß Kepler bei dieser Konstruktion ihre Ellipticität noch nicht auffand; er konnte beim excentrischen Kreise stehen bleiben, wie ihn die Figur in starker Übertreibung andeutet.

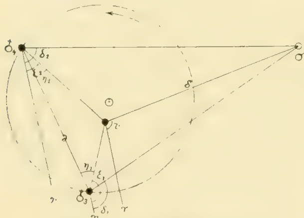


Fig. 67. Zur Marstheorie II.

Für die Theorie der Erdbewegung lag damit eine gute Näherung vor, so daß für jeden beliebigen Tag der Erdenort im excentrischen Kreise bekannt war; nun konnte an die Marsbewegung gegangen werden. Zu der ganz beliebigen Zeit t_3 (Fig. 67) seien als geocentrische Längen von Mars und Sonne die Winkel δ_1 und ε_1 beobachtet worden; zu einer andern Zeit t_4, die sich um eine volle Anzahl von Marsjahren von t_3 unterscheidet, habe man δ_2 und ε_2 beobachtet. Das Dreieck ☉ ♁$_3$ ♁$_4$ mit den Winkeln η_1 und η_2 kennt man nun bereits aus der Theorie der Erde; ferner ist jetzt $\sphericalangle$ ♂ ♁$_3$ ☉ $= \varepsilon_1 - \delta_1$; $\sphericalangle$ ♂ ♁$_4$ ☉ $= \delta_2 - \varepsilon_2$; damit kennt man den einen wahren Marsort, der beiden Beobachtungen entspricht; denn von dem Dreiecke ♁$_3$ ♁$_4$ ♂ haben wir außer der Basis noch die ihr anliegenden

[1] Die Linien ♁$_1$♈ und ♁$_2$♈ sind parallel; der Punkt ♈ liegt ja im Unendlichen.

Winkel $\eta_1 + \varepsilon_1 - \delta_1$ und $\eta_2 + \delta_2 - \varepsilon_2$. Damit haben wir dann auch die heliocentrische Länge υ des Mars und seinen Sonnenabstand ρ. Zu bemerken ist, daß bei der vorläufigen Konstruktion (Fig. 66) als lineare Einheit ein bestimmter Erdenabstand des Mars diente; nunmehr dient aber der Erdbahnradius als Längeneinheit.

Durch Bildung einer Menge von Beobachtungspaaren wie t_3 und t_4 konnte eine Menge von heliocentrischen Marsörtern nach Länge und Sonnenabstand gefunden werden. Durch graphische Auftragung aller dieser Örter erhielt Kepler die wahre Gestalt der Marsbahn als die einer ziemlich excentrischen Ellipse[1], in deren einem Brennpunkte die Sonne steht. Hieraus zog er den Schluß, daß wahrscheinlich auch die Bahnen der andern Planeten, vorab der Erde, nicht excentrische Kreise, sondern Ellipsen seien, und die Diskussion der Beobachtungen bestätigt das.

Es war ein Glück für die Wissenschaft, daß gerade für den Mars eine so schöne Reihe von scheinbaren Örtern durch einen Beobachter ersten Ranges zusammengebracht war. Denn die Bahnellipse gerade dieses Planeten weicht von einem Kreise sehr merklich ab, viel mehr als die der Erde oder z. B. des Jupiter. Der ziemlich geringe Unterschied zwischen den Durchmessern der Mars- und der Erdbahn bot den weitern Vorteil, daß allzu kleine Winkel vermieden wurden.

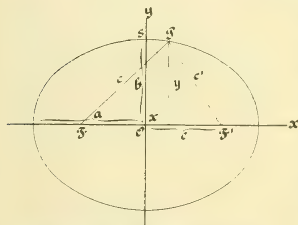


Fig. 68. Zur analytischen Geometrie der Ellipse.

Ueber die Gestalt der Kurve, die man Ellipse nennt, ist bereits früher, wo sie uns als wahre Figur des Meridians entgegentrat, einiges gesagt worden (vgl. S. 57—59). Da jedoch die Ellipse als Bahnform vieler Himmelskörper eine sehr wichtige Rolle spielt, möge noch ein kleiner Nachtrag gestattet sein.

Benutzt man die große und kleine Achse einer Ellipse als X- und Y-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems[2], so kann man die Beziehung ermitteln, welche zwischen den Größen x und y eines Punktes, also zwischen seinen Abständen von der kleinen und großen Achse besteht. Die Summe der Abstände eines Kurvenpunktes von den festen Brennpunkten F und F′ ist, wie wir wissen, konstant; sie ist gleich der großen Achse 2a, wenn man mit a die halbe große Achse bezeichnet. Die konstante Größe jener Summe

[1] Zuerst glaubte er eine Ooide zu erkennen, also den Längsschnitt eines eiförmigen Körpers (ᾠόν). Eine solche Kurve, wie sie in der Natur z. B. häufig als Blattgestalt auftritt, ist nur einfach symmetrisch, nicht doppelt wie die Ellipse. Genauere Untersuchungen lehrten ihn seinen Irrtum erkennen.

[2] Vgl. die Erklärung eines solchen Systems auf S. 164.

gilt natürlich auch für den Endpunkt S der kleinen Achse; da nun wegen der Symmetrie der Kurve $SF = SF'$ ist, so folgt $SF' = a$. Bezeichnet man dann mit b die kleine Halbachse SO und mit e die lineare Excentricität $OF = OF'$, also den Abstand eines Brennpunktes vom Centrum, so ist offenbar

$$e^2 = a^2 - b^2; \frac{e^2}{a^2} = 1 - \frac{b^2}{a^2}; \frac{e}{a} = \frac{1}{a}\sqrt{a^2 - b^2} = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$
$$= \sin OSF' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Die unbenannte Zahl $\frac{e}{a}$, die das Verhältnis der linearen Excentricität zur großen Halbachse angiebt, wird auch die numerische Excentricität genannt, und der Winkel $SF'O$, dessen sin diesem Verhältnisse gleichkommt, heißt der Excentricitätswinkel. Es ist immer $0 < \frac{e}{a} < 1$, also $0^0 < \sphericalangle SF'O < 90^0$. Die untern Grenzwerte gelten offenbar für den Kreis, die obern, wie sich später ergeben wird, für die Parabel.

Konstruiert man nun für den Punkt P die Größen x und y und die Leitstrahlen c und c', so haben die beiden rechtwinkeligen Dreiecke, denen P angehört, die Kathete y gemeinsam; die andern Katheten sind links $e + x$, rechts $e - x$, die Hypotenusen c und c'. Man hat also

$$c^2 = y^2 + (e + x)^2; \; c'^2 = y^2 + (e - x)^2 \quad . \quad . \quad (2)$$

Andererseits ist $c + c' = 2a$; also

$$\sqrt{y^2 + (e + x)^2} + \sqrt{y^2 + (e - x)^2} = 2a \quad . \quad (3)$$

Man bringe die eine Wurzelgröße nach rechts und quadriere beiderseits. Das doppelte Produkt mit der Wurzel isoliere man und quadriere wiederum. Hat man geordnet, so ergiebt sich

$$a^2 (a^2 - e^2) = a^2 y^2 + x^2 (a^2 - e^2).$$

Nun ist $a^2 - e^2 = b^2$. Setzt man diesen Wert ein und teilt durch a^2b^2, so bekommt man

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \text{ oder } \left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1 \quad . \quad . \quad (4)$$

als Centralgleichung der Ellipse, die wegen der Zweideutigkeit der Wurzeln zugleich die doppelte Symmetrie der Kurve bestätigt. Ist die Summe der Quadrate von zwei Größen gleich 1, so kann man diese Größen immer als cos und sin eines Winkels auffassen. Man setze also $x = a \cdot \cos \varphi$, $y = b \cdot \sin \varphi$, wo φ ein beliebiger Winkel ist, und die Gleichung wird erfüllt sein. Hat man daher a und b, so kann man schnell eine große Anzahl von Ellipsenpunkten berechnen; man schlage die Logarithmen von a und b auf, addiere sie zu den log sin der Winkel etwa von 0^0, 5^0, 10^0 ... bis 90^0 und trage die Punkte auf gewürfeltem Papier (Briefpapier, Projektierpapier) ein, auf dem man die Achsen vorher gezogen hat.

Jeder Punkt giebt noch drei weitere an, da man mit den Zeichen von x und y wechseln darf. Die mit Kreuzchen (nicht mit Flecken) bezeichneten Punkte werden zuletzt mit dem Kurvenlineal verbunden.

Die Gleichungen $x = a \cdot \cos\varphi$; $y = b \cdot \sin\varphi$ haben noch eine weitere Bedeutung. Wäre die kleine Achse nicht gleich b, sondern auch gleich a, so hätte man $x = a \cdot \cos\varphi$; $y = a \cdot \sin\varphi$, wie man auch leicht unmittelbar an dem Kreise ableiten kann, wozu die Ellipse dann geworden wäre. Für gleiche Werte von x fallen, wie die Gleichungen darthun, die Größen y_e in der Ellipse kleiner aus als die Werte y_k in dem Kreise; es ist $\frac{y_e}{y_k} = \frac{b}{a} = \cos SF'O$. Man nennt die Größe y vorzugsweise die Ordinate und x die Abscisse eines Punktes. Es zeigt sich also, daß durch Verkürzung aller Ordinaten im gleichem Verhältnisse ein Kreis in eine Ellipse verwandelt wird. So ist in Fig. 69 jede Ordinate, etwa BC, auf die Hälfte (BA) reduciert worden; die neu entstandene Punktreihe ist eine Ellipse, wofür $b = \frac{1}{2}a$, also $e^2 = a^2 - b^2 = \frac{3a^2}{4}$, $e = \frac{a}{2}\sqrt{3}$, $\sin OSF' = \sin 60^0$ ist. Die Ellipse tritt also als Abbild des Kreises auf. Als solches haben wir sie schon in vielen Figuren benutzt; auch in der Natur entsteht sie als Verzerrung des Kreises; so erscheint die durch Refraktion verzerrte Sonnen- oder Mondscheibe in der Nähe des Horizontes (vgl. S. 97) als stark excentrische Ellipse, und die aberrative sowie die parallaktische Curve eines Fixsternes (S. 184, 189) sind gewöhnlich stark elliptische Zerrbilder der sehr schwach elliptischen kreisähnlichen Erdbahn. Die letzten beiden Fälle zeigen auch die Ausartung der Ellipse in die gerade Linie für $b = 0$ an.

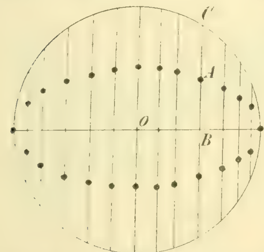


Fig. 69. Die Ellipse als Abbild des Kreises.

Die Sonne steht nicht im Centrum O (Fig. 68, S. 195), sondern in einem Brennpunkte, etwa F′, der elliptischen Planetenbahn. Für diesen Punkt ist offenbar $x = e$, $y = 0$. Eine in F′ auf der großen Achse errichtete Senkrechte schneidet die Ellipse in zwei Punkten, für welche $x = e$, also $\frac{e^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ ist; es ergiebt sich $\frac{y^2}{b^2} = 1 - \frac{e^2}{a^2} = \frac{b^2}{a^2}$ (vgl. 1). Damit wird $y^2 = \frac{b^4}{a^2}$, $y = \pm\frac{b^2}{a}$. Die Ordinate im Brennpunkte wird auch der Parameter[1] der Ellipse genannt und mit p bezeichnet. Man sieht, daß

[1] Auf der zweiten Silbe zu betonen.

$\frac{p}{b} = \frac{b}{a}$ ist. Der Parameter hat eine besondere Bedeutung für den Lauf eines Planeten um die Sonne. Man lege ein neues rechtwinkliges Koordinatensystem durch die Ellipse: die X-Achse soll bleiben, die Y-Achse aber nicht mit der kleinen Achse, sondern mit dem Parameter der Lage nach zusammenfallen; der Nullpunkt ist also ein Brennpunkt, und zwar soll es derjenige sein, in welchem die Sonne steht. In dem neuen System ist die Ordinate unverändert gleich y, die Abscisse aber, die wir der Unterscheidung wegen ξ nennen wollen, nun gleich $x - e$. Den $\measuredangle\, KFP = v$ (Fig. 70) nennen wir die **wahre Anomalie**[1] des Planeten; sie ist in dem **Perihel**[1] oder der Sonnennähe gleich 0^0, in dem **Aphel**[1] gleich 180^0. Man hat $\xi = r \cos v$; $y = r \sin v$. Nun ist r dieselbe Größe, die wir früher (Fig. 68, S. 195) mit c' bezeichnet haben; es gilt also mit Rücksicht auf (2) und (3) die Gleichung

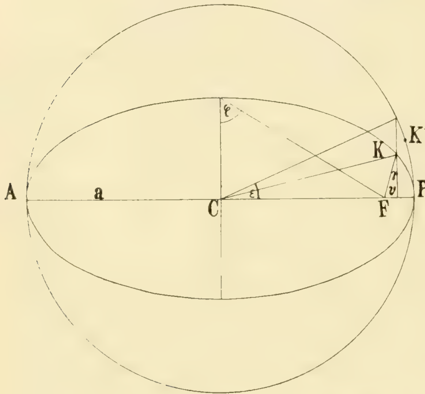


Fig. 70. Die drei Anomalien in der Planetenbahn.

$$r = 2a - \sqrt{y^2 + (\xi + 2e)^2}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

da $x + e = \xi + 2e$ ist. Daraus folgt, wenn man die Wurzelgröße isoliert, beide Seiten quadriert und die sich sofort darbietenden Kürzungen vorgenommen hat: $ar = a^2 - e^2 - \xi e$.

Nun ist $a^2 - e^2 = b^2$; $\xi e = re \cos v$. Man erhält also $ar = b^2 - re \cos v$; $r = b^2 : (a + e \cos v)$. Für die numerische Excentricität $\frac{e}{a}$ wollen wir die Bezeichnung $\mathfrak{e}$ wählen; dann wird der Nenner gleich $a\,(1 + \mathfrak{e} \cos v)$. Da nun $\frac{b^2}{a} = p$ ist, so erhält man am Ende

$$r = \frac{p}{1 + \mathfrak{e} \cos v} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Das ist die einfache Beziehung zwischen dem Sonnenabstande eines Planeten und seiner wahren Anomalie. Die Größen p und $\mathfrak{e}$ stehen für dieselbe Bahn fest; v und r ändern sich gemeinsam auf Grund der Gleichung.

[1] Auf der letzten Silbe zu betonen. — *Περί, ἀπό, ἥλιος.*

Für $v = 0^{0}$ (Perihel) erhält man $r = p\,(1 + \mathfrak{e})$ als Minimum; für $v = 180^{0}$ (Aphel) kommt $r = p\,(1 - \mathfrak{e})$ als Maximum heraus. Die große Halbachse a stellt einen Mittelwert zwischen $\frac{p}{1+\mathfrak{e}}$ und $\frac{p}{1-\mathfrak{e}}$ dar. Denn es ist $b^2 = a^2 - e^2 = a^2(1 - \mathfrak{e}^2) = a^2(1 + \mathfrak{e})(1 - \mathfrak{e})$; $b = a\sqrt{1 - \mathfrak{e}^2}$; $\frac{p}{b} = \frac{b}{a}$, also $p = b\sqrt{1 - \mathfrak{e}^2} = b\sqrt{1 - \mathfrak{e}}\sqrt{1 + \mathfrak{e}} = a\,(1 - \mathfrak{e}^2)$, also $p : (1 + \mathfrak{e}) = a\,(1 - \mathfrak{e})$; $p : (1 - \mathfrak{e}) = a\,(1 + \mathfrak{e})$. Dasselbe lehrt Fig. 68 (S. 195). Dort sieht man auch, daß der Planet seine mittlere Entfernung a von der Sonne hat, wenn er sich in einem Endpunkte der kleinen Achse befindet.

* * *

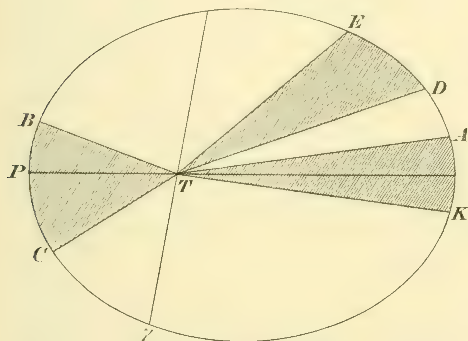


Fig. 71. Keplers zweites Gesetz.

Das erste Keplersche Gesetz giebt an, daß die Bahn eines jeden Planeten eine Ellipse ist, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht. Es sagt aber noch nichts aus über die Geschwindigkeit der Bewegung. Hiervon redet das zweite Gesetz Keplers, das er gleichfalls aus den Tychonischen Marsbeobachtungen abgeleitet hat. Es sagt aus, daß der Radiusvektor eines Planeten in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt. Der Radiusvektor oder Leitstrahl ist die Linie, die den Mittelpunkt des Planeten in seiner jeweiligen Stellung mit dem Centrum der Sonne verbindet, also die Strecke, die wir zuletzt mit r bezeichnet haben. Wenn nun der Planet weit von der Sonne absteht, dem Aphel nahe ist, so läuft er viel langsamer als in der Nähe des Perihels, und er legt auch kleinere Winkel zurück. Die Zeit, worin er von B nach C (Fig. 71) gewandert ist, kommt genau der Zeit gleich, die er für den Weg von D nach E gebraucht hat; offenbar sind die Bogen ungleich, und es ist $\sphericalangle$ DTE $<$ BTC, wenn T die Sonne ist. Aber die Flächen DTE und BTC, die der Radiusvektor überstrichen hat, sind von gleicher Größe. Durch diesen höchst merkwürdigen Satz wurde das Problem der excentrischen Bewegung, an dem sich die Astronomen der ältern Zeit vergeblich abgemüht hatten, in einfacher Weise gelöst. Man sieht sofort, daß er etwas ganz anderes aus-

sagt als die ältere Behauptung, die Planeten liefen in excentrischen Kreisen (vgl. Fig. 65, S. 192). Man kann nun leicht angeben, welche Fläche der Leitstrahl in einer bestimmten Zeit, z. B. in einem Tage, überfahren wird. Der gesamte Inhalt einer Ellipse mit den Halbachsen a und b ist gleich $\pi \cdot ab$, wie man leicht beweist, wenn man nach Fig. 69 (S. 197) die Ellipse als Projektion eines Kreises mit dem Radius a und dem Inhalte $\pi \cdot aa$ auffaßt und dabei bedenkt, daß alle zur kleinen Achse parallelen unendlich schmalen Streifen in demselben Verhältnisse $\frac{b}{a}$ verkürzt sind. Wird nun z. B. für den Mars, der in 687^d um die Sonne läuft, die große Achse = a gesetzt, so ergeben die Beobachtungen $e = 0{,}093\,a$, also $e = 0{,}093$; $b = a\sqrt{1 - e^2} = 0{,}996$; der Inhalt ist $\pi \cdot ab = \pi \cdot 0{,}996\,a^2 = 3{,}127\,a^2$. Der täglich vom Leitstrahl zurückgelegte Sektor ist dann $3{,}127\,a^2 : 687 = 0{,}0045\,a^2$. Sind allgemein a und b die Bahnhalbachsen, während T die in der Zeiteinheit, etwa in Tagen, ausgedrückte Umlaufszeit ist, so ist $c = \frac{\pi \cdot ab}{T}$ der täglich zurückgelegte Sektor oder die Flächengeschwindigkeit. Man kann die Größe a in Teilen der großen Halbachse der Erdbahn ausdrücken oder auch in Kilometern; jedenfalls zeigt sich, daß zwischen dem Orte des Planeten in seiner Bahn und der nach dem letzten Perihel verflossenen Zeit eine bestimmte mathematische Beziehung besteht.

* * *

Die beiden ersten Gesetze Keplers gestatten uns, die beobachteten Örter eines jeden Planeten viel richtiger darzustellen und die zukünftigen viel genauer vorauszuberechnen, als es unter der unrichtigen Annahme von excentrischen Kreisen möglich war. Denn haben wir die beiden Ellipsen, etwa Marsbahn- und Erdbahnellipse, im richtigen Verhältnisse und in richtiger Lage gezeichnet, sind uns ferner die Perihel-Zeitpunkte für beide Gestirne durch die älteren Beobachtungen gegeben, so haben wir nur die eine Bahn in 365, die andere in 687 gleiche Sektoren zu teilen[1], um dann Tag für Tag die heliocentrischen Örter von ♁ und ♂ ablesen zu können und hierauf durch Anlegen des Lineals an beide und Bestimmung seines Winkels mit der ♈-Linie (Fig. 66 u. 67) auch die geocentrischen Örter des ♂. Offenbar kommt es aber auf die Lage der großen Achsen an. Es müssen hier einige Begriffe festgestellt werden, mit deren Hilfe man sich leicht ein Bild des Sachverhaltes machen kann. Da die Bahnebene eines jeden Planeten durch

[1] Auf die Ausführung dieser Konstruktion muß hier verzichtet werden; es kommt nur auf das Begreifen ihrer Möglichkeit an. Im folgenden Kapitel wird einiges darüber gesagt werden.

die Sonne[1] geht, so schneiden sich die Bahnebenen von ♁ und ♂ in einer durch die ☉ gehenden Linie. Sie heißt die Knotenlinie des Planeten. Mit der von der Sonne zum Frühlingspunkte gezogenen Linie macht die Knotenlinie einen Winkel, den man die Länge des Knotens nennt. Dabei ist folgendes festzuhalten: 1. die Längen sind, wie üblich, gegen den Uhrzeiger von 0° bis 360° zu zählen, also im Sinne der wahren Planetenbewegungen; 2. von den beiden unendlich fernen Punkten der Knotenlinie kommt der in Betracht, durch welchen für einen Beobachter auf der Sonne der Planet zu gehen scheint, wenn er von der südlichen Seite der Ekliptik (oder Erdbahnebene) auf die nördliche übergeht, nicht der entgegengesetzte Punkt. Jener heißt der aufsteigende Knoten, dieser der absteigende. Beim Monde haben wir (S. 105) denselben Begriff kennen gelernt. Die Länge des aufsteigenden ♂-Knotens beträgt 49°, die des aufsteigenden ♃-Knotens 99°.

Von der Ekliptikalebene gehen wir nun zur Ebene des Planeten über. Zieht man von der Sonne aus eine Linie zum Perihel des Planeten, so macht diese mit der Linie zum aufsteigenden Knoten einen Winkel, der, von der Knotenlinie aus im Sinne des Planetenlaufes gezählt, der Abstand des Perihels vom Knoten heißt. Nennt man ihn ω, während Ω die Knotenlänge bedeutet, so heißt die Summe $\omega + \Omega$ die Länge des Perihels; sie wird auch wohl mit Π bezeichnet; es versteht sich, daß sie um 360° zu vermindern ist, sobald sie diesen Betrag überschreitet. Für ♂ ist $\Omega = 49^0$, $\omega = 285^0$, also $\Pi = 334^0$. Für die Erde ist natürlich der Begriff der Knotenlinie gegenstandslos; wohl aber kommt es auch hier auf die Lage der Apsidenlinie oder großen Achse an. Die Länge des Perihels der Erdbahn beträgt zur Zeit 101°. — Vergrößert man die Perihellänge noch um die (nach S. 198) bestimmte wahre Anomalie v des Planeten, so stellt die Summe $\Pi + v$ oder $\Omega + \omega + v$ seine Länge in der Bahn dar; die Summe $\omega + v$ für sich ist der jeweilige Winkelabstand des Planeten von seiner Knotenlinie; man nennt ihn auch das Argument[2] der Breite, weil die heliocentrische Breite oder der Winkelabstand des Planetenleitstrahls von der Ekliptikalebene mit Hilfe dieses Argumentes ermittelt werden kann. Natürlich sind auch die Summen $\Pi + v$ und $\omega + v$ gegebenenfalls um 360° zu vermindern.

Bei der einfachen Kreisbewegung war die Konstruktion der Epicykloide, die ein Planet zu beschreiben scheint, gleichfalls ziemlich einfach. Die Linie

[1] Genauer: durch das Centrum der Sonne. Das ist auch später zu verstehen.

[2] Argument ist in der Mathematik jede Größe, von der eine andere als Funktion abhängt. Man gebraucht den Ausdruck namentlich bei Tafeln. So ist in den gewöhnlichen Logarithmenbüchern der num das Argument des log, der Winkel das Argument von log sin, log cos 2c.

hat eine Schleife nach der andern, entsprechend den synodischen Umläufen, und alle diese Schleifen sind kongruent, wie es, wenigstens ungefähr, für die Epicykloiden des ♃ und ♄ in Fig. 72 zutrifft; hier sind für die Zeit 1708—1720[1] beim ♃ und 1708—1737 bei ♄ die geocentrischen Längen und die Entfernungen von der ♁ den Beobachtungen gemäß aufgetragen. Nur bei schärferem Zusehen findet man die Ungleichheit der Schleifen heraus; beim ♃ z. B., wo das Perihel in der Länge von 13° liegt, in der Figur am rechten Rande über ♈, fallen die Schleifen wegen des schnellern Laufes am größten aus. Aber im ganzen ist, wie gesagt, der Unterschied gering.

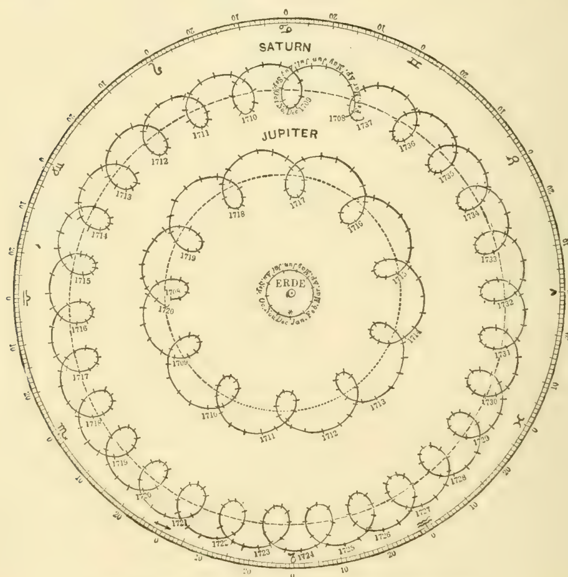


Fig. 72. Epicyklische Bewegung von Jupiter und Saturn.

Betrachten wir dagegen Fig. 73, die nach Flammarions Beobachtungen und Rechnungen die scheinbare ♂-Bahn für die Zeit von 1875 bis 1892 darstellt! Der um die Erde gezogene Kreis bezeichnet hier, wie auch in der vorigen Figur, die scheinbare Sonnenbahn. Die Schleifen nehmen immer sehr große Teile der ♂-Bahn weg, da die synodische Umlaufszeit mehr als 2 Jahre (780^d) beträgt. Einzelne Oppositionen fallen mit dem Perihel des Planeten beinahe zusammen; da nun in jeder Opposition der Erden-

[1] Die Jahresanfänge sind in der Zeichnung hervorgehoben.

abstand des Planeten seinem Sonnenabstande, vermindert um den Sonnenabstand der Erde[1], gleichkommt, so ist in den sogen. Perihel-Oppositionen der Planet sehr viel näher bei der Erde als in den Aphel-Oppositionen. Andererseits bringt es der schnellere Lauf im Perihel mit sich, daß die Schleife im engern Sinne, also der rückläufige Teil der scheinbaren Bahn, hier kleiner ausfällt als im Aphel. Unsere Figur enthält die Buchstaben P und A an den Punkten, wo ♂ durch sein Perihel oder Aphel ging.

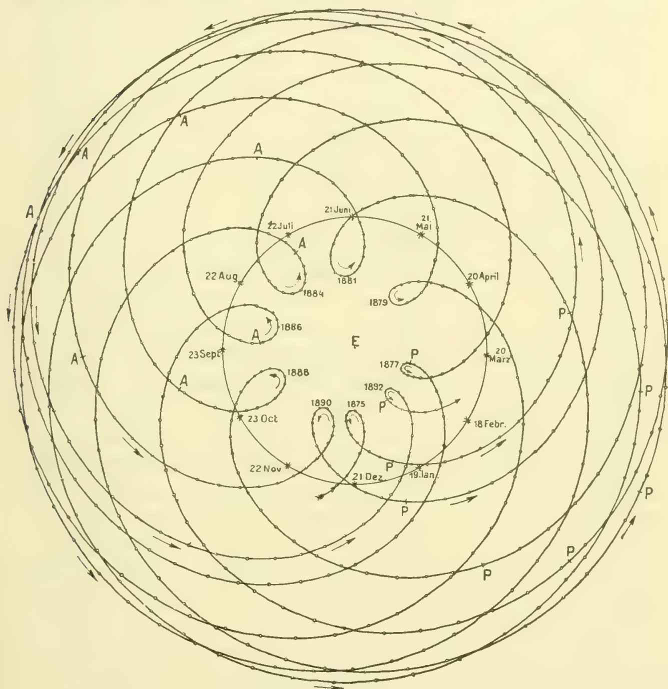


Fig. 73. Epicyklische Bewegung des Mars.

Es ist zu beachten, daß sich diese Figur ohne Rücksicht auf jede Theorie aus den Beobachtungen konstruieren läßt, wenn man nur die Punkte in der Nähe der Konjunktion, die sich ja nicht beobachten lassen, durch Zwischen-

[1] Auch dieser ist wegen der Excentricität der Erdbahn veränderlich; da aber die Marsbahn viel excentrischer und auch linear größer ist, so machen die wechselnden Sonnenabstände des Mars am meisten aus.

rechnung (Interpolation) ermittelt. Denn man kann immer, wenn ♂ überhaupt sichtbar ist, 1. seine geocentrische Länge festsetzen und 2. seinen scheinbaren Durchmesser bestimmen[1], der der Entfernung umgekehrt proportional ist, uns also für jeden seiner Werte einen bestimmten Entfernungswert liefert, sobald ein einziger willkürlich angenommen ist. Will man die Figur durch epicyklische Bewegung erklären, so steht man vor all den oft erörterten Rätseln. Keplers Gesetze lassen sie als notwendige Folge der Verbindung von zwei um die Sonne beschriebenen Ellipsen erkennen. Übrigens ist die wahre Figur noch verwickelter als die hier gezeichnete, weil ♂ während eines jeden Umlaufes nur zweimal in der Ebene der Ekliptik steht, sonst immer nördlich darüber oder südlich darunter. Thatsächlich geht der Planet geocentrisch nicht leicht zweimal durch denselben Punkt im Raume. Zur vollkommenen Darstellung des scheinbaren Laufes eines Planeten müßte man schon die Ebene ein wenig verlassen und im Raume einen Draht biegen.

In den Oppositionen vereinigt sich der große scheinbare Durchmesser eines Planeten mit seiner Sichtbarkeit während der ganzen Nacht, um ihn zu einem bequemen Beobachtungsgegenstande zu machen; je näher man der Konjunktion kommt, desto ungünstiger werden alle Bedingungen. In den Quadraturen, d. h. in den Stellungen, wo die Gesichtslinien des irdischen Beobachters zur Sonne und zum Planeten einen rechten Winkel miteinander machen, ist uns, wie eine leichte Überlegung zeigt, von der erleuchteten Planetenseite verhältnismäßig der kleinste Teil zugewandt; die Scheibe erscheint ein wenig ausgebrochen, wie der Mond wenige Tage vor oder nach seinem vollen Lichte.

Späteren Betrachtungen vorgreifend, wollen wir noch erwähnen, daß allen Planeten, deren Scheiben überhaupt meßbar sind, eine Achsendrehung zuzukommen scheint. Sie ist wieder beim Mars besonders gut bekannt, und ihre Periode beträgt hier $24^h\ 37^m\ 22^s,65$ mittlerer Sonnenzeit, ist also von der Rotationszeit der Erde gar nicht sehr verschieden. Wie die Achsen der Erde und des Mondes (vgl. S. 119, 155) bleibt die Marsachse stets einer festen Richtung parallel, zeigt also nach einem und demselben Fixsterne, und zwar in der RA 318° und der Decl + 56°, im südlichen Teile des Cepheus. Hier liegt also für etwaige Marsbewohner der Polarstern. Wie sich die Lage dieser Achse ermitteln läßt, ist leicht zu ersehen. Das Fernrohr zeigt uns, daß sich die Flecken auf der ♂-Scheibe allmählich verschieben. Die Verschiebungsrichtung steht jedesmal senkrecht auf einem bestimmten Durchmesser der Scheibe, und dieser ist ein Teil von einem Hauptkreise der Sphäre. Man trägt ihn in ein Kartennetz ein; spätere Tage liefern andere Hauptkreisbogen, und ihr gemeinsamer Durchschnittspunkt ist offenbar der

[1] Diesen allerdings nicht mit derselben Schärfe.

unendlich ferne Punkt, nach welchem die ♂-Achse zeigt. Jede spätere Beobachtung bestätigt es, daß die Achse unverrückt nach diesem Punkte weist, der Planet mag gehen, wie er will.

Die Gesichtslinie Erde-Mars kann bei ihren wechselnden Lagen sehr verschiedene Winkel mit der Marsachse bilden. Ist der Winkel ein rechter, dann sehen wir beide Pole zugleich, und die Rotation zeigt uns nach und nach die ganze Oberfläche des Planeten. Andernfalls ist uns entweder der Nordpol oder der Südpol für längere Zeit zugewandt; von dem entgegengesetzten Pol ist dann nichts zu sehen, und offenbar ändert die Rotation das auch nicht.

Wir sind nun in der Lage, die sehr lehrreichen Figuren 74 und 75 ganz zu verstehen. Sie stellen eine Halbkugel des ♂ dar, wie sie zu verschiedenen Zeiten, nämlich an den näher angegebenen Daten der Oppositionen und Quadraturen von der ♁ aus gesehen worden ist; ein dem irdischen ähnliches Gradnetz ist des leichtern Verständnisses halber eingetragen. Die unvollkommene Gestalt in den Quadraturen ist oben (S. 204) besprochen worden; die verschiedene Größe ist eine Folge des wechselnden Erdabstandes, wie ihn Fig. 73 für die einzelnen mit den Jahreszahlen bezeichneten Oppositionen erkennen läßt. Den Aphel-Oppositionen (1881—1888) stehen die Perihel-Oppositionen mit viel bedeutenderer scheinbarer Planetengröße gegenüber; die Jahre 1877 und 1892 hatten besonders günstige Oppositionen; die erstgenannte hat damals die Entdeckung der beiden Marsmonde ermöglicht. Die angeführten Oppositionstage lassen ferner erkennen, daß das synodische Jahr bei ♂ der größern Excentricität halber noch mehr als bei ♃ schwankt; in der Nähe des Aphels folgen die Oppositionen einander schneller als in der Nähe des Perihels [1]. Endlich sieht man die wechselnde Lage der ♂-Achse zum Beobachter. Der durch einen (übrigens veränderlichen) weißen Fleck ausgezeichnete Südpol erscheint dem europäischen Beobachter im umkehrenden Fernrohr oben. In der Opposition 1877 der Erde zugewandt, erscheint er in der nächsten Opposition schon etwas weniger gut; die folgenden zeigen den Nordpol erst undeutlich, dann immer besser, bis er allmählich wieder dem Südpol weicht.

Die Figur hat den Maßstab $1'' = 2$ mm, d. h. für jede Winkelsekunde sind zwei Millimeter gesetzt worden. Da nun der Kreisumfang $1\,296\,000''$ hat, so ist der Radius eines jeden Kreises $= \frac{1\,296\,000''}{2\,\pi} = 206\,265''$. Der Radius des Kreises, auf den der Winkeldurchmesser bezogen wird, d. h. die Entfernung des Planeten von der Erde, ist also hier konstant zu 2 mm $\times$ 206 265 oder zu 412,53 Metern anzunehmen.

[1] Nicht umgekehrt, obgleich ja der Planet im Aphel langsamer läuft. Die Gleichung S. 192 unten läßt leicht den Grund erkennen.

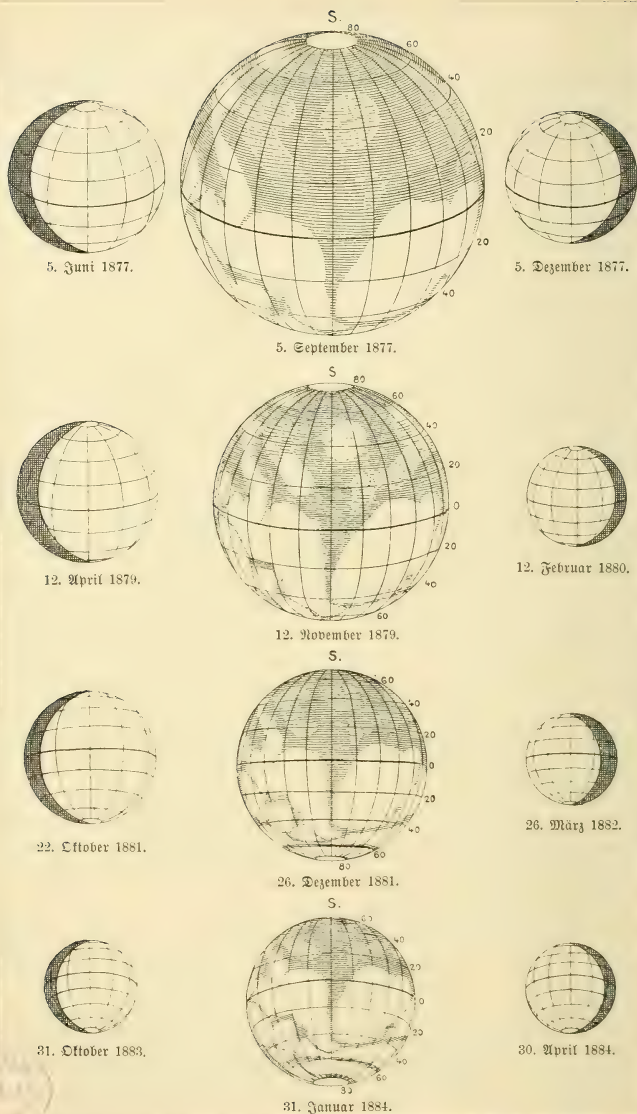


Fig. 74. Wechselnder Anblick des Mars. A. — (Nach *Flammarion*, La Planète Mars.)
Maßstab: 2 mm = 1″ an der Sphäre.

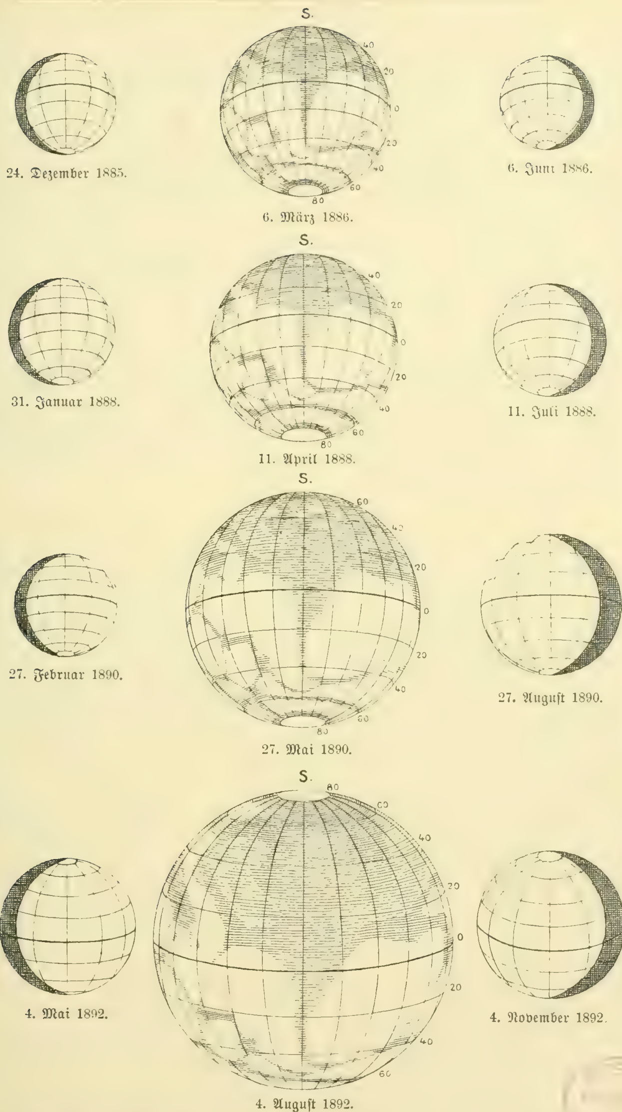


Fig. 75. Wechselnder Anblick des Mars. B. — (Nach *Flammarion*, La Planète Mars.)
Maßstab: 2 mm = 1″ an der Sphäre.

Betrachtet man daher die einzelnen Marsbilder Fig. 74 und 75 aus diesem großen Abstande, so erscheinen sie in derselben Winkelgröße, in der ♂ an den angegebenen Tagen selbst erschienen ist.

Um aus dieser Winkelgröße die wahre Größe abzuleiten, bedenke man, daß die Beobachtungen die jeweilige Entfernung des Mars auf eine bestimmte Einheit beziehen lehren, nämlich auf den Radius oder genauer die große Halbachse der Erdbahn. Nun aber kennen wir (vgl. S. 179) diese wichtige Größe auch in den gebräuchlichen Maßen, z. B. in Kilometern, nämlich aus der Aberrationskonstante, den Venusdurchgängen u. s. w. Es verschlägt nichts, daß wir damals von der Excentricität absahen; sie läßt sich leicht berücksichtigen. Also können wir für ♂ und ebenso für jeden andern Planeten auch die wahre Größe des Durchmessers ermitteln in derselben Weise, wie früher (S. 102—103) für den Mond gelehrt worden ist. Wir werden später sehen, daß die nach den angegebenen Methoden ermittelte Größe der Halbachse der Erdbahn noch immer mit einer kleinen Unsicherheit behaftet ist. Diese Unsicherheit spielt offenbar auch in die Abstände und Durchmesser der Planeten hinein.

* * *

Die vorstehenden Ausführungen, die wir der Einfachheit halber hauptsächlich für Mars gemacht haben, lehren uns die große Fruchtbarkeit der beiden ersten Keplerschen Gesetze: sie liefern eine streng geometrische Darstellung des Planetenlaufes ohne die Fehler, welche bei den scharfsinnigen Rechnungen der Alten und selbst bei den Verbesserungen des Coppernicus übrig blieben. Noch weitere Ausblicke eröffnet aber das dritte Keplersche Gesetz, welches eine Beziehung zwischen den Umlaufszeiten und den großen Bahnachsen der einzelnen Planeten ausspricht.

Bisher wußten wir, daß jeder Planet in einer Ellipse läuft, deren einer Brennpunkt die Sonne ist; daß er sie mit wechselnder Geschwindigkeit dem Flächengesetze zufolge durchläuft, und daß die sonnenfernern Planeten wesentlich langsamer laufen als die sonnennähern. Schon sehr früh, ehe er noch an der Kreisgestalt der Planetenbahnen zweifelte, hat sich Kepler die Frage vorgelegt, ob nicht zwischen ihren Sonnenabständen ein mathematischer Zusammenhang bestehe. Seine ersten Versuche, diesen zu ermitteln, sind fehlgeschlagen, bleiben aber wegen ihrer sinnreichen Gedanken beachtenswert. Bekanntlich giebt es fünf sogen. regelmäßige Polyeder, die jeder von Ecken, Flächen und Kanten je einer Art begrenzt werden: Tetraeder, Hexaeder oder Würfel, Oktaeder, Dodekaeder, Ikosaeder. Um und in jeden von diesen Körpern läßt sich eine Kugel beschreiben. Kepler dachte sich nun zuerst eine Kugel mit dem Radius der Merkursbahn beschrieben und um diese ein Oktaeder. Um das Oktaeder wird eine neue Kugelfläche beschrieben,

ihr Radius ist der der Venusbahn; um diese Kugel ein Ikosaeder und um dieses die dritte Kugel, deren Radius dem der Erdbahn gleichkommt. Es folgt ein Dodekaeder, das sich der dritten Kugel anschmiegt und seinerseits eine vierte Kugelfläche berührt, deren Radius gleich dem der Marsbahn sein soll. Um die nun folgende große Lücke zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter auszufüllen, legt Kepler um die vierte Kugel ein Tetraeder, das sich wegen seiner geringen Flächenzahl mit den Ecken am meisten von der Innenkugel entfernt; die durch die Ecken dieses Körpers gelegte Kugel soll dann den Radius der Jupitersbahn haben und von einem Würfel äußerlich berührt werden, durch dessen Ecken die letzte Kugel mit dem Radius der Saturnsbahn geht. Es ist leicht, aus der jetzigen genauern Kenntnis der Bahnen nachzuweisen, daß diese Annahmen nur eine sehr rohe Näherung darstellen. Folgende Übersicht zeigt die wahren Verhältnisse zwischen den großen Halbachsen der Bahnen von je zwei benachbarten Planeten und daneben die aus der Polyedertheorie hervorgehenden.

Wahres Verhältnis.		Berechnetes Verhältnis.
♀ : ☿	1,869	1,732
♁ : ♀	1,382	1,258
♂ : ♁	1,524	1,258
♃ : ♂	3,414	3,000
♄ : ♃	1,837	1,732

Wie man sieht, sind alle berechneten Werte merklich zu klein. Es ist übrigens zu beachten, daß Kepler damals für die wahren Verhältnisse der Bahnradien auch nur die noch ziemlich unvollkommenen Werte des Coppernicus besaß, und daß es gerade ihm vorbehalten war, später den Fingerzeig für eine weit genauere Bestimmung zu geben. Nach der Polyedertheorie, die er selbst wieder aufgab, versuchte Kepler die mittlern Winkelgeschwindigkeiten oder täglichen Bewegungen der sechs bekannten Planeten mit den musikalischen Schwingungsverhältnissen in Beziehung zu setzen, ohne daß er damit wesentlich weiter kam. Um jetzt die Lücke zwischen ♂ und ♃ auszufüllen, schob er zwischen deren Bahnen die eines neuen, noch zu entdeckenden Planeten ein. Dieser kühne Gedanke hat der spätern Entdeckung der kleinen Planeten vorgegriffen [1].

Im Jahre 1618 kam Kepler auf den glücklichen Einfall, die Zahlenwerte für die großen Bahnhalbachsen und die Umlaufszeiten der Planeten zu verschiedenen Potenzen zu erheben. Die Werte waren ihm damals bereits viel genauer bekannt als vordem; und so glückte ihm die Auffindung eines dritten Gesetzes: Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier

[1] Übrigens wollte Kepler auch zwischen Merkur und Venus einen Planeten einschalten, was sich nicht als haltbar erwiesen hat.

Planeten verhalten sich wie die Würfel ihrer mittlern Entfernungen von der Sonne. Um dieses wichtige Gesetz zu begreifen, wollen wir die nachstehende Tafel betrachten.

Planet.	a	T	a^3	T^2	$T^2 : a^3$	log a	log T	3 log a	2 log T	2 log T — 3 log a	Planet.
☿	0,39	87,97	0,058	7739	133414	9,58782	1,94433	8,76346	3,88866	5,12520	☿
♀	0,72	224,70	0,378	50489	133407	9,85934	2,35160	9,57802	4,70320	5,12518	♀
♁	1,00	365,24	1,000	133401	133401	0,00000	2,56258	0,00000	5,12516	5,12516	♁
♂	1,52	686,93	3,537	471867	133389	0,18290	2,83691	0,54870	5,67382	5,12512	♂
♃	5,20	4330,60	140,819	18754263	133162	0,71624	3,63655	2,14872	7,27310	5,12438	♃
♄	9,54	10746,95	867,96	115499470	133070	0,97950	4,03129	2,93850	8,06258	5,12408	♄

Für die in der ersten und letzten Spalte durch ihre Zeichen angegebenen Planeten giebt die zweite Spalte unter a die großen Bahnhalbachsen oder mittlern Sonnenentfernungen, wobei als Einheit der mittlere Sonnenabstand der ♁ dient (vgl. S. 199). Da die Rechnung am bequemsten logarithmisch geführt wird, sind hier die Werte von a selbst nur auf zwei Stellen angegeben, in der 7. Spalte dagegen die fünfstelligen Logarithmen der genauen Werte. Wir wissen, daß die Größen a, wenn man sie als Radien auffaßt, bei bekannter Umlaufszeit aus der Größe der epicyklischen Schleife bestimmt werden können (vgl. S. 170), oder genauer, als Halbachsen nach dem Verfahren, durch welches Kepler sein erstes Gesetz aufgefunden hat (vgl. S. 193 bis 194). Die tropischen Umlaufszeiten, die man aus den genau bekannten mittlern synodischen Umlaufszeiten (nach S. 167) ableiten kann, sind unter T in mittlern Sonnentagen angegeben; ihre Logarithmen unter log T. Um nun die Quadrate der Umlaufszeiten und die Würfel (dritten Potenzen) der Halbachsen zu bekommen, hat man bekanntlich die log T zu verdoppeln, die log a zu verdreifachen. Die angeführten Werte für 2 log T und 3 log a liefern dann die in starker Abkürzung mitgeteilten Werte T^2 und a^3. Teilt man nun jedes a^3 durch das zugehörige T^2, so bekommt man, wie die 6. Spalte zeigt, immer nahezu denselben Wert; auch die in der vorletzten Spalte stehenden Logarithmen dieses Verhältnisses zeigen das. Woher die kleinen Unterschiede rühren, die noch übrig bleiben, wird sich später ergeben[1]. Im ganzen können wir, wenn die in Betracht kommenden Größen für einen beliebigen Planeten a_1 und T_1, für einen andern beliebigen a_2 und T_2 genannt werden, die Proportion

$$\frac{T_1^{\,2}}{a_1^{\,3}} = \frac{T_2^{\,2}}{a_2^{\,3}}, \text{ oder nach Umstellung der innern Glieder, } \frac{T_1^{\,2}}{T_2^{\,2}} = \frac{a_1^{\,3}}{a_2^{\,3}}$$

als bewiesen ansehen. Sie giebt das dritte Keplersche Gesetz an; und sie gilt nicht nur für die sechs Planeten, die Kepler kannte, sondern auch für

[1] Es kommt die Vernachlässigung der Masse (vgl. Kap. 18) und die Einsetzung der tropischen Umlaufszeit für die siderische (vgl. Kap. 19) in Betracht.

die äußersten Wandelsterne Uranus und Neptun sowie für die mehr als 400 kleinen Planeten, die sich zwischen den Bahnen des Mars und des Jupiter um das Tagesgestirn bewegen. Ja sie gilt mit derselben Genauigkeit auch in den kleinern Systemen, die unser Sonnensystem einschließt. Wir können es uns nicht versagen, dieses wenigstens für das schon früher erwähnte System des Jupiter zu zeigen. Folgendes Täfelchen giebt für die vier größern Monde die Umlaufszeiten in Stunden und die großen Bahnhalbachsen, hier also die Abstände vom ♃-Centrum, in Winkelsekunden[1] und in myriom.

	a″	a myriom	T h	log a″	log T h	3 log a″	2 log T h	3 log a″ − 2 log T h
Trabant I	112	42 200	42,5	2,0492	1,6284	6,1476	3,2568	2,8908
„ II	177	66 700	85,2	2,2480	1,9304	6,7440	3,8608	2,8832
„ III	284	107 100	171,7	2,4533	2,2348	7,3599	4,4696	2,8903
„ IV	499	188 100	400,5	2,6981	2,6026	8,0943	5,2052	2,8891

Die übrig bleibenden Differenzen erklären sich durch die starke Abkürzung der zu Grunde gelegten Zahlen. Es ist zu bemerken, daß wir für den Logarithmus des Verhältnisses $a^3 : T^2$ hier andere Zahlen bekommen als vorhin bei dem Sonnensystem, und zwar nicht etwa nur wegen der Wahl anderer Einheiten, sondern auch aus einem innern Grunde, nämlich wegen der Verschiedenheit der anziehenden Kräfte von Jupiter und der Sonne, wie sich genauer im folgenden Kapitel zeigen wird. Wieder ein anderes, übrigens für alle acht Monde gleiches Verhältnis ergiebt sich beim Saturn, ein anderes für die zwei Marsmonde und ein anderes für die vier Uranusmonde.

Und alle diese Himmelskörper befolgen nicht nur das dritte Keplersche Gesetz, sondern auch das erste und zweite: sie laufen in Ellipsen (die bei einigen als solche mit der Excentricität null, d. h. als Kreise aufgefaßt werden können) um ihre Centralkörper, und ihre Leitstrahlen legen in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurück. Ja auch in den fernen Systemen der Doppelsterne zeigen sich wenigstens die beiden ersten Gesetze bestätigt.

Wir dürfen daher Keplers Gesetze als Naturgesetze auffassen, die keine bloßen Zahlenspiele sind, wie die anfänglichen Versuche des unermüdlichen Mannes, sondern auf einem tiefern Grunde ruhend im ganzen Weltall herrschen.

Welches ist dieser Grund?

[1] Die Winkelsekunden sind das direkte Ergebnis der Messung; sie gelten für die mittlere Entfernung Jupiters von der Erde oder Sonne, also für einen Abstand von 5,2 Sonnenweiten oder 78 Millionen myriom, da die Sonnenweite 15 Millionen myriom beträgt (S. 179). Im Abstand von 206 265 myriom Entfernung erscheint uns ein Gegenstand von 1 myriom Größe unter dem Winkel von einer Sekunde; in 78 Mill. myriom Entfernung also ein Gegenstand von 370 bis 380 myriom Größe (vgl. S. 205). Eine Strecke von 112″ Winkelgröße ist also linear 42 000 myriom groß u. s. w.

Achtzehntes Kapitel.

Newtons Gesetz der allgemeinen Schwere.

Bereits früher (S. 138) haben wir des Trägheits- oder Beharrungsgesetzes als eines allgemein gültigen Naturgesetzes gedacht. Es sagt aus, daß jeder Körper in seinem Bewegungs- oder Ruhezustande verharrt, solange ihn nicht eine äußere Ursache zwingt, diesen zu ändern. So läuft ein Billardball geradlinig weiter; die mähliche Verlangsamung schreiben wir einem äußern Grunde zu, nämlich der Reibung; wenn seine Geschwindigkeit dagegen wüchse, so würden wir schließen, daß die Platte nicht horizontal stände. Die Richtung seines Laufes kann auch nur eine äußere Ursache ändern: das Zusammentreffen mit der Bande, mit einem andern Ball oder mit einer schadhaften Stelle im Zeug.

Sehen wir, daß ein Körper die Richtung und die Geschwindigkeit seines Laufes beständig ändert, nicht nur in einzelnen Punkten, so müssen wir schließen, daß eine äußere Ursache thätig ist, die beständig auf ihn einwirkt. Es können auch mehrere Ursachen sein, bei der fliegenden Geschützkugel z. B. die Schwere und der Luftwiderstand. Die Gesetze, nach denen die Planeten die Richtung und Geschwindigkeit ihres Laufes stetig ändern, sind durch Kepler ermittelt worden, und so dürfen wir hoffen, auch über die hierbei thätige äußere Ursache etwas zu erfahren.

Schon Kepler selbst hat aus seinem Flächengesetze, dem zweiten der nach ihm benannten Prinzipien, die Vermutung gezogen, daß eine Kraft den Planeten beständig zur Sonne hintreibe. Um diesen Gedankengang zu verstehen, betrachten wir Fig. 76. Hier sei a ein Körper, der sich in den drei gleichen Zeiträumen t_1, t_2, t_3 der Reihe nach von a nach d, g und h bewegt, und zwar eben nach dem Flächengesetze, d. h. so, daß der Radiusvektor, der von einem festen Punkte C aus gezogen wird, gleiche Flächenräume in gleichen Zeiten zurücklegt. Es ist also $\triangle\, aCd = dCg = gCh$. Da der Körper in d und g seine Laufrichtung geändert hat, ist in diesen Punkten die äußere Kraft thätig gewesen. Hätte sie nicht gewirkt, so wäre in dem zweiten Zeitraum der Körper in der verlängerten ad um ein ebensogroßes Stück de weiter gelaufen. Man sieht sofort, daß der gleichlangen Seiten und Höhen wegen $\triangle\, dCe = aCd$ ist, und da auch $dCg = aCd$, so hat man $dCe = dCg$. Diese Dreiecke haben die dC gemeinsam; wegen ihrer Gleichheit müssen sie auch in der zugehörigen Höhe übereinstimmen; also ist $eg \parallel dC$. Trägt man $eg = df$ auf dC ab, so lehrt uns der Satz vom Parallelogramm der Kräfte, daß die Ursache, die den Körper gezwungen hat, längs der Diagonale dg anstatt längs der Seite de zu gehen, ihrer Größe und Richtung nach durch

df gemessen wird. Die Fortsetzung der Figur zeigt ähnliches. Es ist nach dem Trägheitsgesetze gk = gd zurückzulegen; thatsächlich wird gh beschrieben, und zwar nach dem Flächengesetze so, daß △ gCh = dCg = gCk ist. Also ist wieder kh ∥ gC, und der Richtungswechsel muß wieder eine Ursache gehabt haben, die im Sinne der Strecke gi den Körper nach C hintrieb.

Umgekehrt wird, wenn man eine „Centralkraft" annimmt, d. h. eine Kraft, die am Anfange jedes Zeitteilchens den Körper nach dem festen Punkte C treibt, das Flächengesetz als eine geometrische Notwendigkeit erkannt. Vermöge des Trägheitsgesetzes will der Körper etwa von a nach b laufen; die nach Größe und Richtung durch ac gemessene Kraft zwingt ihn, die Diagonale ad zu beschreiben. Hierauf zwingt sie ihn, die Diagonale dg anstatt der Seite de zu beschreiben. Nach der Parallelogramm-Konstruktion ist jetzt eg ∥ dC, also △ dCg = dCe, mithin auch gleich dem ebensogroßen Dreiecke aCd u. s. w.

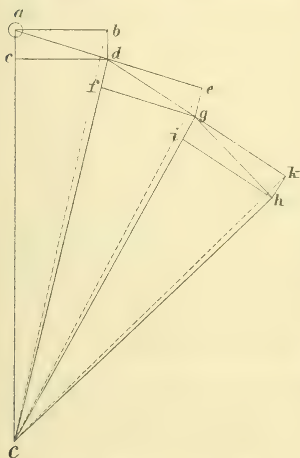


Fig. 76. Flächengesetz und Centralkraft.

Die Beweise behalten ihre Kraft, wenn man die Zeitteilchen immer kleiner macht und somit allmählich die gebrochene Linie adgh in eine stetig gekrümmte Bahn übergehen läßt. Wir müssen dann annehmen, daß eine beständig wirkende Kraft den Körper nach C treibt, und umgekehrt: liegt eine solche Kraft vor, so muß der Körper eine krumme Linie nach dem Flächengesetze beschreiben.

Wir sehen also, daß jeder Planet beständig durch eine nach dem Centrum der Sonne gerichtete Kraft beeinflußt wird; denn der in Fig. 76 mit C bezeichnete Punkt ist ja eben das Centrum der Sonne, von dem aus der Radiusvektor gezogen wird. Über die Größe dieser Kraft muß eine neue Untersuchung entscheiden, die auch das erste und dritte Gesetz heranzieht.

* * *

Der Leser, welcher tiefer in die Sache einzudringen wünscht, wolle sich die nachfolgende strengere Beweisführung nicht verdrießen lassen; es wird später (S. 218) eine einfachere, aber auch weniger scharfe gegeben werden. Wir schicken zunächst ein paar geometrische Sätze voraus. Es sei (Fig. 77)

eine Ellipse mit dem Brennpunkte F und F′, den Halbachsen a und b gegeben. Um in einem beliebigen Punkte M der Ellipse die Tangente zu ziehen, hat man bekanntlich den Nebenwinkel H M F′ des von den beiden Leitstrahlen F M und F′M gebildeten Winkels zu halbieren. Man kann auch analytisch die Gleichung der Tangente in rechtwinkligen Koordinaten ermitteln; sie lautet:

$$\frac{\xi x}{a^2} + \frac{\eta y}{b^2} = 1, \text{ wenn } \frac{xx}{a^2} + \frac{yy}{b^2} \text{ die Curvengleichung ist}^1.$$

In der Tangentengleichung sollen ξ und η die sogen. laufenden Koordinaten eines Tangentenpunktes bezeichnen, während x und y die bestimmten Koordinaten des Punktes M sind. Setzt man $\eta = 0$, so wird $\xi = \frac{a^2}{x}$. Dieses Wertpaar für ξ und η betrifft offenbar den Punkt K, wo die Tangente die große Achse schneidet. Es ist also $OK = \frac{a^2}{x}$.

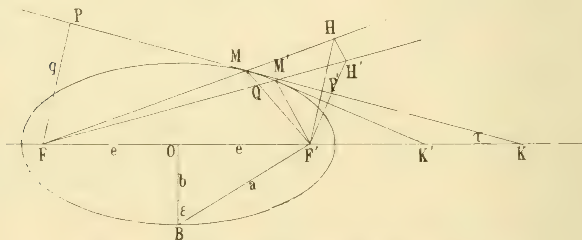


Fig. 77. Ableitung des Newtonschen Gesetzes aus den Keplerschen.

Verbindet man die Tangentengleichung in der Weise mit der Gleichung $\eta = 0$ für die X-Achse, daß man den von diesen beiden Linien gebildeten Winkel τ bestimmt, erhält man leicht

$$\tan \tau = \frac{b^2 x}{a^2 y}; \text{ und } \cot \tau = \frac{a^2 y}{b^2 x}.$$

Man fälle nun aus den Brennpunkten die Senkrechten F P und F′P′ auf die Tangente M K. Es ist dann:

$$FP^2 + PK^2 = FK^2 = \left(\frac{a^2}{x} + e\right)^2;$$

$$F'P'^2 + P'K^2 = F'K^2 = \left(\frac{a^2}{x} - e\right)^2,$$

da $OK = \frac{a^2}{x}$ und $OF = OF' = e$ oder der linearen Excentricität ist. Man setze nun $FP = q$, $F'P' = q'$, beachte, daß $PK = FP \cdot \cot \tau$

[1] Betreffs des Beweises für diese einfachen Sätze muß auf die mehrerwähnten mathematischen Schulbücher verwiesen werden.

und $P'K = F'P' \cdot \text{cotan}\, \tau$ ist, und führe noch für e den Wert $a \sin \varepsilon$ ein, woraus sich (vgl. △ OBF′, wo $BF' = BF$ zu beachten ist) noch $b = a \cos \varepsilon$ ergiebt; endlich leite man aus der Kurvengleichung ab: $y^2 = \frac{b^2}{a^2}(a^2 - x^2) = (a^2 - x^2) \cos^2 \varepsilon$. Dann ist:

$$q^2 (1 + \text{cotan}^2 \tau) = a^2 \left(\frac{a}{x} + \sin \varepsilon\right)^2;$$

$$q'^2 (1 + \text{cotan}^2 \tau) = a^2 \left(\frac{a}{x} - \sin \varepsilon\right)^2;$$

$$q q' = \frac{a^2 \left(\frac{a^2}{x^2} - \sin^2 \varepsilon\right)}{1 + \text{cotan}^2 \tau} = \frac{\frac{a^2}{x^2}(a^2 - x^2 \sin^2 \varepsilon)}{1 + \frac{a^4 y^2}{b^4 x^2}}$$

$$= \frac{\frac{a^2}{x^2}(a^2 - x^2 \sin^2 \varepsilon)}{\frac{b^4 x^2 + a^4 y^2}{b^4 x^2}} = \frac{a^2 b^4 (a^2 - x^2 \sin^2 \varepsilon)}{b^4 x^2 + b^2 a^2 (a^2 - x^2)}$$

$$= \frac{b^2 (a^2 - x^2 \sin^2 \varepsilon)}{x^2 \cos^2 \varepsilon + a^2 - x^2} = \frac{b^2 (a^2 - x^2 \sin^2 \varepsilon)}{a^2 - x^2 (1 - \cos^2 \varepsilon)} = \frac{b^2 (a^2 - x^2 \sin^2 \varepsilon)}{a^2 - x^2 \sin^2 \varepsilon} = b^2.$$

Es ist also das Rechteck aus den Strecken FP und F′P′ gleich dem Quadrate der kleinen Halbachse.

Nun möge ein Planet nach Keplers ersten beiden Gesetzen die elliptische Bahn um die Sonne F beschreiben und in dem kleinen Zeitraume t von M nach M′ gelangen[1]. Hat er hier die Laufgeschwindigkeit l, so hat das Dreieck MFM′, das wir bei genügend kleinem t mit dem vom Leitstrahl beschriebenen Ellipsensektor verwechseln dürfen, den Inhalt $\frac{1}{2}\, MM' \cdot q = \frac{1}{2}\, qlt$; denn MM′ ist gleich dem Produkte aus der Geschwindigkeit und der Zeit. Andererseits ist nach dem Flächengesetze der Sektor MFM′ selber der Zeit proportional, also gleich ct, wenn c eine konstante Größe bezeichnet. Daher ist $\frac{1}{2}\, qlt = ct$, also $l = \frac{2c}{q}$. Die Geschwindigkeit des Planeten ist also umgekehrt proportional dem Abstande der Sonne von der Tangente der augenblicklichen Laufrichtung.

Den Wert von c haben wir früher (S. 200) abgeleitet. Es ist $c = \frac{\pi \cdot ab}{T}$ der in der Zeiteinheit vom Leitstrahl überfahrene Flächenraum, wenn T die Umlaufszeit ist.

Es habe sich ferner der Leitstrahl FM in der Zeit t mit der Geschwindigkeit v gedreht, d. h. er habe in der Zeiteinheit den Winkel v, in der Zeit t den $\measuredangle\, tv = MFM'$ beschrieben. Wegen der Kleinheit von tv darf man den Bogen MQ eines um F mit FM beschriebenen Kreises als eine zu FM′ senkrechte Strecke auffassen. Da nun, wenn v in absolutem Maße gemessen ist, $MQ = FM \cdot tv$ wird, oder gleich rtv, wenn der Radius-

[1] Die Bahn wird, wie man sieht, hier von Süden aus betrachtet.

vektor mit r bezeichnet wird, und da ferner $\triangle$ MQM′ $\sim$ FPM[1] oder MQ : MM′ = FP : FM, so ist nach Einsetzung der einzelnen Werte

$$\frac{rtv}{lt} = \frac{q}{r}.$$

Hebt man t und beachtet, daß $l = \frac{2c}{q}$ ist, so bekommt man $v = \frac{2c}{r^2}$; d. h. es ist die Winkelgeschwindigkeit umgekehrt proportional dem Abstande von der Sonne, wie man leicht auch unmittelbar aus dem Flächengesetze ableiten konnte, da MFM′ mit MFQ vertauscht werden kann und dieses Dreieck gleich $\frac{1}{2} r^2 \cdot t \cdot v$, jenes gleich ct ist.

Man verlängere nun F′P′ = q′ bis zum Durchschnitte H mit FM. Nach der vorhin erwähnten geometrischen Konstruktion der Tangente ist F′H = 2q′. Da nun $l = \frac{2c}{q}$ oder $= \frac{2cq'}{b^2}$ ist, mit Rücksicht auf die vorhin abgeleitete Gleichung für qq′, so ist auch $l = \frac{c \cdot F'H}{b^2}$, so daß F′H eine Art Geschwindigkeitsmaß für den Planeten darstellt. Die Geschwindigkeit l gilt nur für das unendlich kleine Zeitteilchen, in welchem der Planet von M nach M′ geht; hierauf gilt eine neue Geschwindigkeit $l' = \frac{c \cdot F'H'}{b^2}$; F′H′ ist die um sich selbst verlängerte Senkrechte aus F′ auf die neue, durch M′ gelegte Tangente M′K′. Man setze F′H′ = q_1; beim Grenzübergange ist q_1 mit q vertauschbar, sowie l′ mit l.

Da die Linien F′H und F′H′ auf den Tangenten senkrecht stehen, so schließen sie denselben Winkel ein wie diese; es ist also[2] $\sphericalangle$ HF′H′ = KMK′ = KM′K′. Denken wir uns nun ein Dreieck hf′h′, worin f′h = lt, f′h′ = l′t und $\sphericalangle$ hf′h′ = HF′H′ ist. Wegen dieses Winkels und der Proportionalität von l und l′ mit 2q und 2q_1 wird dieses Dreieck, das wir nicht besonders zeichnen wollen, dem $\triangle$ HF′H′ ähnlich sein. Verlegen wir f′ nach M′ und f′h in die Richtung der alten Tangente MK, dann können wir sagen: die alte Geschwindigkeit l würde in einem neuen Zeitelemente t den Planeten von f′ nach h treiben; thatsächlich gelangt er mit der neuen Geschwindigkeit l′ auf der neuen Tangente, in deren Richtung f′h′ fällt, nach h′. Das kann nur durch die Wirkung einer Kraft gekommen sein, die in der Zeit t dem Körper einen Antrieb gleich hh′ oder gleich der durch f′ zu hh′ gezogenen parallelen und gleichen Linie erteilt hat. Es ist $\frac{hh'}{HH'} = \frac{l't}{2q'} = \frac{ct}{b^2}$, $hh' = \frac{c \cdot HH't}{b^2}$. Nun ist FH = FM + MF′ = 2a wegen der Grundeigenschaft der Ellipse und der geometrischen Tangentenzeichnung; ebensogroß ist FH′ = 2a, also

[1] Eigentlich ist, wegen der Übereinstimmung in zwei Winkeln, $\triangle$ MQM′ $\sim$ FPM′. Beim Übergange zu einem unendlich kleinen MM′ verschwindet aber der Unterschied.

[2] M und M′ sind mit dem Durchschnittspunkte der Tangenten vertauschbar.

ist in Anbetracht des sehr kleinen Winkels $HFH' = tv$ die Strecke HH', welche $\perp FH$ ist, gleich $2a \cdot vt$; da $v = \frac{2c}{r^2}$, so ist $HH' = \frac{4ac \cdot t}{r^2}$, also $hh' = \frac{4ac^2 \cdot t^2}{b^2 r^2}$. Nun ist $c = \frac{\pi \cdot ab}{T}$, also

$$hh' = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \cdot \frac{t^2}{r^2}.$$

Ersetzt man hier noch den Faktor t^2 durch 1, so erhält man den Antrieb s zur Sonne hin, den der Planet in der Zeiteinheit erfährt. Es ist

$$s = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \cdot \frac{1}{r^2}.$$

Diese sehr wichtige Gleichung lehrt uns, daß der Antrieb in jedem Augenblicke umgekehrt proportional ist dem Quadrate des Leitstrahls, also dem Quadrate der Entfernung des Planeten von der Sonne. Denn der erste Faktor ist konstant und hängt nur von der großen Achse und der Umlaufszeit ab. Sprechen wir das Ergebnis noch einmal aus:

Ein um die Sonne kreisender Planet bewegt sich so, als ob in jedem Augenblicke eine Kraft ihn zur Sonne hintriebe, die seinem Abstande von der Sonne umgekehrt proportional ist.

Bisher haben wir nur die ersten beiden Gesetze Keplers zu Rate gezogen. Das dritte, das wir nun auch hinzuziehen wollen, sagt bekanntlich (S. 209—210) aus, daß

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2}$$

ist; wo die Zeiger 1 und 2 für zwei verschiedene Planeten gelten. Führt man ebenso die Bezeichnungen r_1 und r_2, s_1 und s_2 ein, so wird

$$s_1 = \frac{4\pi^2 a_1^3}{T_1^2} \cdot \frac{1}{r_1^2};\quad s_2 = \frac{4\pi^2 a_2^3}{T_2^2} \cdot \frac{1}{r_2^2};$$

also mit Rücksicht auf die obige Gleichung, die Keplers drittes Gesetz ausdrückt:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{\frac{1}{r_1^2}}{\frac{1}{r_2^2}}.$$

Also sind auch die Antriebe, die zwei verschiedene Planeten erfahren, miteinander in umgekehrtem Verhältnisse der Quadrate ihrer Leitstrahlen. Darum kann man weiter aussagen:

Die Sonne zieht alle Planeten mit einer Kraft an, welche dem Quadrate ihres jeweiligen Sonnenabstandes umgekehrt proportional ist.

Man bemerke, daß wir hier den Ausdruck gewechselt haben. Früher hieß es, daß der Planet zur Sonne hingetrieben werde, jetzt wird gesagt,

daß sie ihn anziehe. Der Astronomie kann die Wahl des Ausdruckes gleichgültig sei. Der Lauf der Planten vollzieht sich so, als zöge die Sonne jeden einzelnen nach dem erwähnten Gesetze an. Ob wirklich ein Körper durch ungemessene Fernen auf einen andern wirken kann, muß die Philosophie in Verbindung mit der Physik entscheiden. Es sind beachtenswerte Versuche gemacht worden, das Anziehungsgesetz auf einen Massendruck zurückzuführen; uns kümmern sie hier nicht; wir beruhigen uns dabei, daß die Anziehungskraft der Sonne, mag sie nun thatsächlich oder scheinbar vorhanden sein, alle beobachteten Vorgänge zu erklären im stande ist.

Die Anziehungskraft wirkt momentan; sobald der Körper in M (Fig. 77) angelangt ist, erfährt er sofort die dem Radiusvektor FM entsprechende Beschleunigung s; man kann für diese Kraft nicht, wie für den Lichtstrahl, eine meßbare Fortpflanzungsgeschwindigkeit angeben.

* * *

Will man das Anziehungsgesetz etwas einfacher ableiten, so betrachte man die Planetenbahnen als Kreise, deren Radien die großen Halbachsen a sind. Daß der Planet seine Bahn beständig krümmt, müssen wir dann als Wirkung einer Centripetalkraft, d. h. eben einer zur Sonne strebenden Kraft auffassen. Für diese haben wir aber oben (S. 143, Fig. 41) den Ausdruck $\frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$ ermittelt. Hier ist r durch a zu ersetzen; m wollen wir weglassen, indem wir nur die Bewegung eines Planetenteiles betrachten, der gleich der Masseneinheit ist und mit den übrigen Teilen die Bahn um die Sonne zieht. Für zwei Planeten gilt dann, wenn mit s die Centripetalkraft bezeichnet wird,

$$s_1 = \frac{4\pi^2 a_1}{T_1{}^2};\ s_2 = \frac{4\pi^2 a_2}{T_2{}^2};\ \frac{s_1}{s_2} = \frac{a_1 \cdot T_2{}^2}{a_2 \cdot T_1{}^2}.$$

Da nun nach Keplers drittem Gesetze

$$\frac{T_1{}^2}{a_1{}^3} = \frac{T_2{}^2}{a_2{}^3}$$

ist, so können wir die linke Seite dieser Gleichung dem Zähler, die rechte dem Nenner des Ausdruckes für $s_1 : s_2$ als Faktor anhängen, wodurch wir, dem Frühern entsprechend, erhalten:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{\frac{1}{a_1{}^2}}{\frac{1}{a_2{}^2}}.$$

Es ist also erwiesen, daß alle Planeten beständig eine Beschleunigung zur Sonne hin erfahren, die für alle nach demselben Gesetze, nämlich dem des umgekehrten Entfernungsquadrates, veränderlich ist. Nun sind die Planeten von sehr verschiedener Größe, und diese Größe läßt sich ermitteln, wo

sie nicht allzuklein ist. Für Jupiter z. B. können wir auf Grund der Keplerschen Gesetze jederzeit den Abstand von der Erde, bezogen auf die mittlere Sonnenweite, angeben; und da wir seinen scheinbaren Durchmesser mit dem Fernrohr bestimmen können, läßt sich auch der wahre Durchmesser angeben in Teilen der mittlern Sonnenweite oder in Myriometern. Dasselbe gilt von der Sonne. Genaueres über diese Bestimmungen wird ein späteres Kapitel bringen; hier sei nur ihr Ergebnis vermerkt, daß nämlich die Jupiterkugel zwar mehr als tausendmal größer als die Erdkugel ist, aber noch immer tausendmal kleiner als die Sonnenkugel. Man wird vermuten können, daß auch die Masse des Jupiter weit größer als die der Erde ist. Unter der Masse eines Körpers versteht man nach gewöhnlicher Angabe die in ihm enthaltene Menge von Materie. Das ist aber nur eine Umschreibung des Wortes. Um den Begriff genauer zu erklären, geht man von dem Kraftbegriffe aus. Zwei Kräfte oder Bewegungsursachen nennen wir gleich groß, wenn sie, in entgegengesetzter Richtung wirkend, einander aufheben. Legt man z. B. auf eine der bekannten Haushaltungs-Federwagen einen Gegenstand, so wird die Feder zusammengedrückt und kommt nach einigen Zuckungen zur Ruhe. Jetzt sind zwei Kräfte einander gleich, nämlich die nach unten wirkende Schwere des Gegenstandes und die nach oben wirkende Spannung der Feder. Und ähnlich, wenn wir auf die eine Schale der Krämerwage ein bestimmtes Eisenstück, auf die andere eine so große Menge Kochsalz legen, daß dem Eisen das Gleichgewicht gehalten wird. Die Schwere des Kochsalzes und die des Eisens stellen zwei gleiche und entgegengesetzt wirkende Kräfte dar.

Ist eine Kraft im stande, gerade zehn vereinigte kleinere, einander gleiche Kräfte aufzuheben, so sagen wir, daß sie das Zehnfache von einer dieser Kräfte beträgt; etwa ein Stück Blei, das zehn einzelnen Pfundstücken aus Eisen das Gleichgewicht hält. Vom Begriffe der $n$fachen Kraft geht man leicht zu dem eines beliebigen Kraftteiles und endlich beliebiger rationaler oder irrationaler Kraftverhältnisse über. Eine bestimmte Kraft muß man als Einheit nehmen; welche, das ist an sich gleichgültig.

Sind zwei Körper m_1 und m_2 gegeben, und muß die Einheitskraft während einer Zeiteinheit auf m_1 wirken, um ihm eine bestimmte Geschwindigkeit zu erteilen, während auf m_2 eine $n$mal so große Kraft behufs Erteilung derselben Geschwindigkeit ebensolange wirken müßte, dann sagen wir, daß m_2 die $n$fache Masse von m_1 hat. Wir sagen es deshalb, weil n einzelne Körper wie m_1 offenbar denselben Kraft- und Zeitaufwand erfordern würden wie der eine Körper m_2. Die so definierte Masse ist von der Größe der Körper wohl zu unterscheiden. Man kann wieder eine bestimmte Masse als Einheitsmasse oder Masseneinheit wählen; in der Physik nimmt man gewöhnlich die Masse eines Kubikcentimeters reinen

Wassers von + 4° C, die man Gramm nennt, oder auch deren tausendfachen Betrag, das Kilogramm. Von dem Begriff der Masse ist der des Gewichtes wohl zu unterscheiden. Ein Gewicht, z. B. das eines Kilogramms, ist eine Kraft, und zwar, wie wir aus den Beweisen für die Achsendrehung der Erde wissen, eine nach der geographischen Breite veränderliche Kraft, während die Masse z. B. eines eisernen Kilogrammstückes dieselbe bleibt, an welchen Punkt des Weltraumes das Stück auch versetzt werden möge.

Daß zwei Körper verschiedene Größen und gleiche Massen haben, können wir häufig beobachten. Die Erfahrung lehrt uns dabei, daß mit gleicher Masse gleiches Gewicht verbunden ist. Man lade in einen Eisenbahnwagen 10 000 kg Blei, ein anderes Mal 10 000 kg Steinkohlen; es ist derselbe Zeit- und Kraftaufwand in beiden Fällen zur Erteilung derselben Geschwindigkeit auf den Schienen notwendig. Die im Gewichte übereinstimmenden, in der Größe sehr verschiedenen Körper Kohle und Blei stimmen also auch in der Masse überein.

Hat man sich über die Wahl einer Größeneinheit und einer Masseneinheit entschieden, so kommt man zu dem neuen Begriffe der Dichte. Hat man z. B. das Kubikcentimeter und das Gramm gewählt, so wird die Masse einer beliebigen Wassermenge durch dieselbe Zahl angegeben wie ihre Größe: 50 ccm bedeuten 50 gr, 200 ccm bedeuten 200 gr, wie man auf den Apothekerflaschen sehen kann, wo der Rauminhalt geradezu in Gramm, d. h. in Gramm Wassers angegeben ist. Die Masse eines ccm Gold ist dagegen gleich 19 gr; n ccm Gold haben die Masse von 19 n gr. Man sagt nun, daß die Dichte des Goldes gleich 19 sei. Dichte ist also das Verhältnis der Masse zum Volumen.

Für Dichte sagt man häufig auch specifisches Gewicht oder Volumgewicht. Dennoch ist dieser Begriff seinem Ursprunge nach etwas von dem der Dichte verschieden, obwohl er ihm numerisch durchaus gleich ist. Volumgewicht ist das Gewicht der Größeneinheit eines Körpers, gewonnen durch die Gewichtseinheit. Das Volumgewicht des Goldes ist gleich 19, denn 1 ccm Gold wiegt 19 gr.

Ist Jupiter über tausendmal größer als die Erde, dann ist es von vornherein sehr unwahrscheinlich, daß er nicht auch an Masse größer sein sollte. Denn dann müßte seine Dichte äußerst gering sein, so klein, wie sie nur bei luftförmigen Körpern beobachtet wird, wenn wir, in Ermangelung genauerer Kenntnis, vorläufig der Erde die Dichte eines sehr schweren Metalles, etwa des Goldes erteilen[1]. Die große Beständigkeit mehrerer

[1] Thatsächlich ist, wie sich zeigen wird, die Dichte der Erdkugel noch viel geringer; es wird damit noch viel unwahrscheinlicher, daß ihr Jupiter an Masse nur gleich sei.

Gebilde auf dem Jupiter während Wochen und Monaten, trotz einer rasend schnellen Achsendrehung, spricht dagegen.

Hat also Jupiter eine viel größere Masse als die Erde, dann muß es überraschen, daß er ziemlich genau dieselbe Beschleunigung durch die Sonne erfährt wie die Erde. In der That, das Anziehungsgesetz, wie wir es aus Keplers Gesetzen abgeleitet haben, enthält vorderhand noch nichts über die Massen. Setzen wir Jupiter in die Erdbahn, so wird er in einem Jahre um die Sonne kreisen; und die Erde, in die Jupiterbahn gesetzt, würde etwa zwölf Jahre brauchen, wie jetzt dieser Planet. Und dieselbe Unabhängigkeit der Bewegung von der eigenen Masse scheinen alle übrigen Planeten aufzuweisen; so folgen auch die 400 kleinen Planeten demselben Anziehungsgesetze wie die großen, und doch müssen den Messungen zufolge die meisten von ihnen viele Millionen Male kleiner sein als die Erde — von Jupiter ganz zu schweigen —, also jedenfalls auch viel massenärmer.

Werden nun so viele verschiedene Massen nach demselben Gesetze beschleunigt, so muß die anziehende Kraft proportional der angezogenen Masse wirken, da, um einer auf das nfache vergrößerten Masse einen bestimmten Antrieb zu erteilen, die nfache Kraft notwendig ist. Damit entdecken wir eine Ähnlichkeit zwischen der Anziehung der Sonne und der uns wohlbekannten irdischen Schwerkraft. Denn auch diese wirkt proportional der Masse: ein Kilogrammstück erfährt beim freien Fall, vom Luftwiderstande abgesehen, in einer Sekunde denselben Geschwindigkeitszuwachs wie ein Grammstück, nämlich 9,8 Meter für die Sekunde; die tausendfache Masse hat aber die tausendfache Kraft hierfür verlangt, und sie ist ihr auch geliefert worden. Hiernach ist die Beziehung zwischen Masse und Gewicht zu begreifen: die nfache Masse hat das nfache Gewicht, weil sie mit nfacher Kraft fällt.

Sollten Schwere und Anziehung noch enger miteinander verwandt sein? Wir werden diese Frage beantworten, nachdem wir die Anziehung noch genauer kennen gelernt haben.

Für die Anziehung, die ein Planet von der Sonne erfährt, haben wir vorhin (S. 217) den Ausdruck abgeleitet:

$$s = \frac{4\pi^2 \cdot a^3}{T^2} \cdot \frac{1}{r^2}.$$

Wird r gleich der mittleren Entfernung genommen, so erhält man

$$s = \frac{4\pi^2 \cdot a}{T^2},$$

denselben Ausdruck, den wir auch in der genäherten Rechnung gefunden haben. Den konstanten Faktor des ersten Ausdruckes können wir leicht ermitteln. Es ist gleichgültig, welchen Planeten wir dafür wählen. Nehmen wir die Erde, so haben wir a = 1, da die große Bahnhalbachse der Erd-

bahn als Längeneinheit im Sonnensystem gilt. Es ist ferner T = 365$^1/_4$. Man hat dann:

$$\begin{aligned} \log 4\,\pi^2 &= 1{,}5964 \\ \log a^3 &= 0{,}0000 \\ \log T^2 &= 5{,}1252 \\ \hline \log s &= 6{,}4712 - 10 = \log 0{,}0002959. \end{aligned}$$

In der Zeiteinheit von einem mittleren Tage erfährt also ein jeder Planet den Antrieb

$$\frac{0{,}000296}{r^2}$$

nach der Sonne hin, wenn man als Längeneinheit die mittlere Sonnenweite wählt.

Es ist (S. 211) bemerkt worden, daß Keplers Gesetze nicht nur in dem großen System der Sonne gelten, sondern auch in den kleinern Teilsystemen, z. B. in dem des Jupiter. Also gilt auch in diesen Systemen das Gesetz der Anziehung. Es liegt nahe, die Anziehungskraft des Jupiter in derselben Weise zu bestimmen wie die der Sonne. Wir wählen als Bestimmungsgrößen die Bahnhalbachse und die Umlaufszeit des vierten Trabanten, die wir nun gleichfalls in mittlern Sonnenweiten und mittlern Tagen auszudrücken haben. In der mittlern Entfernung Jupiters von der Erde ist a = 499″. Da aber diese Entfernung = 5,203 ist, so kann man die 499″ auf sie beziehen. Eine Sekunde in der Entfernung 1 würde die Größe 1 : 206 265 bedeuten, also 499″ in der Entfernung 5,203 die Größe 499 × 5,203 : 206 265. Es ist:

$$\begin{aligned} \log 499 &= 2{,}6981 \\ \log 5{,}203 &= 0{,}7162 \\ \log 206265 &= 5{,}3144 \\ \hline \log a &= 8{,}0999 - 10 = \log 0{,}0126. \end{aligned}$$

Die Umlaufszeit beträgt genau $16^d\,16^h\,32^m{,}2 = 16^d{,}689$. Man hat darum, analog dem Vorigen:

$$\begin{aligned} \log 4\,\pi^2 &= 1{,}5964 \\ \log a^3 &= 4{,}2997 - 10 \\ \log T^2 &= 2{,}4449 \\ \hline \log s &= 3{,}4512 - 10 = \log 0{,}000000283. \end{aligned}$$

Hiernach ist die anziehende Kraft Jupiters weit geringer als die der Sonne. Das Verhältnis findet man etwas genauer, wenn man 6,4712 — 3,4512 = 3,0200 = log 1047 = log 1 : 0,000955 setzt. Die Rechnung mit genauern Zahlen ergiebt etwa 1048 statt 1047. Natürlich ergeben die andern Jupitermonde bei genauer Rechnung dieselbe Zahl, da sie mit dem vierten und untereinander durch das dritte Keplersche Gesetz verknüpft sind. Die anziehende

Kraft Jupiters ist 1048 mal kleiner als die der Sonne. Stände an der Stelle Jupiters eine 1048 mal so große Masse, so würde diese ebenso stark ziehen wie die Sonne, da sich die Wirkungen der 1048 Teile addierten. Es ist darum anzunehmen, daß die Masse Jupiters nur den 1048. Teil der Sonnenmasse beträgt; und diese Annahme wird im weitern Verlaufe der Untersuchung noch mehrere Stützen gewinnen.

Die Bestimmung des Verhältnisses der Planetenmasse zur Sonnenmasse kann man natürlich für alle Planeten vornehmen, die überhaupt von Monden umkreist werden. Wir wollen sie noch für die Erde durchführen, deren Mond um 0,002571 = 1 : 388,9, ausgedrückt in Längeneinheiten des Sonnensystems, von ihr absteht. Seine Umlaufszeit T beträgt $27^d,322$ (vgl. S. 110). Sonach hat man:

$$\begin{aligned} \log 4\pi^2 &= 1{,}5964 \\ \log a^3 &= 2{,}2305 - 10 \\ \log T^2 &= 2{,}8730 \\ \log s &= 0{,}9539 - 10 = \log 0{,}000000000899. \end{aligned}$$

Hiermit vergleichen wir die oben abgeleitete Konstante für die Anziehungskraft der Sonne durch Subtraktion der Logarithmen. Es ist $0{,}9539 - 6{,}4712 = 4{,}4827 - 10 = \log 0{,}00000304 = -\log 329000$. Die Erdmasse beträgt also nur etwa den 329000. Teil der Sonnenmasse. Schärfere Rechnungen ergeben etwa 1 : 327000. In ähnlicher Weise ergiebt sich für ♂ 1 : 3 Millionen, ♄ 1 : 3500, ⛢ 1 : 22 600, ♆ 1 : 19 000[1]. Für ☿ und ♀, die, soviel man weiß, keine Monde haben, müssen die Verhältniszahlen auf andere Weise ermittelt werden.

Die Beschleunigung des Mondes haben wir in der letzten Rechnung auf die Einheit des Sonnensystems bezogen; sie ist gleich $8{,}99 \cdot 10^{-10} : r^2$, wenn r den in derselben Einheit ausgedrückten jeweiligen Abstand des Mondes von der Erde bezeichnet. Da jedoch r dann immer sehr klein ausfällt, wollen wir die Beschleunigung des Mondes auch noch auf eine andere Einheit, nämlich auf das Meter beziehen. Es ist r, wie wir wissen, im Mittel gleich $3{,}844 \cdot 10^8$ Metern. Im mittlern Abstande ist die Beschleunigung gleich $4\pi^2 a : T^2$. Es möge dann noch T in Sekunden statt in Tagen ausgedrückt werden; wir haben $27{,}322 \times 86\,400 = 2{,}361 \cdot 10^6$, also:

$$\begin{aligned} \log 4\pi^2 &= 1{,}5964 \\ \log a &= 8{,}5848 \\ \log T^2 &= 12{,}7461 \\ \log g_{☾} &= 7{,}4351 - 10 = \log 0{,}002723. \end{aligned}$$

[1] Die beiden letzten Zeichen, wovon das eine willkürlich gebildet worden ist und das andere an den Dreizack erinnert, bedeuten die Planeten Uranus und Neptun, die (vgl. Kap. 30) durch das Fernrohr entdeckt worden sind.

Die Beschleunigung zur Erde hin, die der Mond erfährt, beträgt also in der Sekunde 0,0027 Meter oder etwas weniger als 3 Millimeter. Wir haben sie $g_☾$ genannt und wollen nun fragen, welche Beschleunigung der Mond erfahren würde, wenn sein Abstand nicht 60,28 Erdradien ausmachte, sondern nur einen Erdradius, d. h. wenn er sich in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche, genauer, des Äquators, befände. Da die Anziehungskraft mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt, so haben wir nun umgekehrt $g_☾$ mit dem Quadrate von 60,28 zu multiplizieren. Es ist:

$$\log g_☾ = 7{,}4351 - 10$$
$$\log 60{,}28^2 = 3{,}5604$$
$$\log g_♁ = 0{,}9955 = \log 9{,}90.$$

Diese Größe $g_♁$ hat nun offenbar fast genau denselben Wert wie die uns bekannte und früher (S. 142—143) eingehend besprochene Beschleunigung der fallenden Körper durch die Schwere. Die irdische Fallbeschleunigung ist mit der Breite etwas veränderlich der Abplattung und der Centrifugalkraft wegen. Die Pendelbeobachtungen haben für sie den Ausdruck $g = 9{,}7810\,(1 + 0{,}0051 \sin^2 \varphi)$ ergeben, wo φ die geographische Breite ist. Für den Äquator, wo $\sin^2 \varphi = 0$, erhält man also einfach 9,781; dieser beobachtete Betrag ist noch um den Ausfall zu vermehren, den die Schwere durch die Centrifugalkraft erlitten hat, also um 0,0339 (vgl. S. 142). Die Übereinstimmung der verbesserten Zahl 9,815 mit 9,90 ist genau genug, um einen innern Zusammenhang festzustellen; allerdings ist die Abweichung auch wieder groß genug, um uns die Frage nach ihrer Ursache nahezulegen. Den Zusammenhang hat schon der große Newton erkannt; er erklärte, daß die Kraft, welche die Laufrichtung des Mondes krümmt, keine andere sei als die wohlbekannte Schwerkraft, die im Verhältnisse des Quadrates der Entfernung vermindert sei; und weiterhin leitete er aus Keplers Gesetzen ab, daß eine ähnliche Kraftwirkung von der Sonne, vom Jupiter u. s. w. ausgehe und gleichfalls dem Quadrate der Entfernung gemäß abnehme.

* * *

Wir sehen also, daß der Lauf der Planeten um die Sonne und der Monde um die Planeten eigentlich ein beständiges Fallen ist; nur die große Schnelligkeit des Laufes hindert einen Planeten, wirklich auf die Sonne zu stürzen. In der einen Hälfte der elliptischen Bahn, vom Aphel zum Perihel, vermehrt die Schwere beständig die Geschwindigkeit des Planeten, befähigt ihn aber gerade hierdurch, sich in der zweiten Hälfte wieder ebensoweit von ihr zu entfernen. Ist die Bahn kreisförmig, so reicht die Schwere genau dafür aus, die Laufrichtung stets in derselben Weise zu krümmen. Würde das Anziehungsgesetz plötzlich aufgehoben, so würden sich alle Planeten gerad=

linig längs der Tangente im letzten Punkte, wo das Gesetz noch galt, in den Raum hinaus bewegen.

Wäre der Mond nur einen Erdradius vom Centrum der Erde entfernt, d. h. hielte er sich in der Nähe ihrer Oberfläche, so müßte er eine viel größere Geschwindigkeit haben als gegenwärtig. Wenn wir mit x einen Körper bezeichnen, der in der Nähe der Oberfläche um die Erde eine Kreisbahn zieht, und den Erdradius als Längeneinheit wählen, so besteht nach dem dritten Keplerschen Gesetze die leicht verständliche Gleichung:

$$\frac{T_x{}^2}{1^3} = T_x{}^2 = \frac{T_☾{}^2}{60{,}28^3};\ T_x = T_☾ \cdot 60{,}28^{-\frac{3}{2}};$$

$$\log T_☾ = 6{,}3731$$

$$\frac{3}{2} \log\ 60{,}28 = 2{,}6703$$

$$\log T_x = 3{,}7028 = \log 5044.$$

$T_☾$ war in Sekunden ausgedrückt, man erhält also T_x in demselben Maße. Der erdachte innere Erdmond müßte in 5044 Sekunden um die Erde laufen, und da der Umfang des Äquators nur wenig mehr als 40 000 000 m beträgt und für das Wegfliegen über die Erhöhungen der Erdoberfläche noch etwas zugegeben werden müßte, so sieht man, daß die Geschwindigkeit ziemlich genau 8000 m betragen müßte. Könnte man einer Kanonenkugel diese Geschwindigkeit in horizontalem Sinne erteilen, so würde sie, wenn nicht der Luftwiderstand ihre lebendige Kraft allmählich vernichtete, niemals fallen, sondern beständig um die Erde kreisen; ein voller Umlauf würde noch nicht anderthalb Stunden erfordern.

Da Jupiter eine ganz ähnliche Anziehung ausübt wie die Sonne, nur 1048 mal geringer, und da diese Anziehung dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrates entsprechend bis zum vierten Monde wirkt, so ist gar nicht einzusehen, weshalb sie nicht auch noch weiter wirken sollte, etwa bis zur Sonne. Wir behaupten also, daß Jupiter auch die Sonne anzieht, und fragen, wie das wirkliche Bestehen einer solchen Anziehung beobachtet werden kann.

Die Größe der Anziehung ist leicht zu ermitteln. Sie ist zunächst proportional $\frac{1}{r^2}$, und diese Größe ist natürlich für die Wirkung des ♃ auf die ☉ genau so groß wie für die Wirkung der ☉ auf ♃. Sie ist zweitens proportional der angezogenen Masse, die hier 1048mal so groß ist wie im umgekehrten Falle, darum aber auch eine entsprechend größere Kraft zur Bewegung verlangt. Sie ist drittens proportional der Masse des anziehenden Körpers, hier des ♃. Im ganzen zeigt sich also, daß ♃ auf die ☉ genau dieselbe Anziehungskraft ausübt wie diese auf ihn, nämlich eine Kraft, die dem Massenprodukte direkt, dem Entfernungsquadrate um-

gekehrt proportional ist. Es zeigt sich hier das Princip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung, das die ganze Mechanik beherrscht. Aber die Kraft hat nun eine viel größere Masse zu bewegen, nämlich die der Sonne; diese erhält vom ♃ nur den 1048. Teil der Beschleunigung, die sie dem Planeten erteilt. Mit diesem Bruchteile wird sie nun aber auch thatsächlich zum ♃ hingetrieben. In jedem Tage erfährt ♃ den Antrieb $0{,}000296 : r^2$, die ☉ aber $0{,}000296 : 1048\, r^2$ (vgl. die Ableitung der Zahl auf S. 222). Wie kommt es nun, daß der Planet dennoch ungestört seine Ellipse um die Sonne zieht?

Man sieht leicht ein, daß sich die Sonne gleichfalls ein wenig verschieben muß, wenn sie in immer wechselnden Richtungen die Antriebe erhält. Man kann aber die Bewegung des ♃ von der ruhenden ☉ aus untersuchen, sich also fragen, welche Bahn ♃ für einen Beobachter im Centrum der Sonne beschreiben würde. Es ist klar, daß man nun nicht so sehr die wahre Bewegung des ♃ als vielmehr ihre Unterschiede mit der Sonnenbewegung zu betrachten braucht. Man sagt jetzt: Die beiden Himmelskörper werden aufeinander zu getrieben durch eine Beschleunigung, die gleich der Summe der beiden eben angegebenen ist, die jede für sich den Abstand zu vermindern trachten, also durch die Beschleunigung

$$s = 0{,}000296 \left(1 + \frac{1}{1048}\right) \cdot \frac{1}{r^2}.$$

Es zeigt sich also, daß sich Jupiter nach dem Gesetze der allgemeinen Anziehung um die Sonne bewegt, daß aber die durch r^2 zu teilende Zahl, welche die Größe der täglichen Beschleunigung angiebt, jetzt etwas größer ist, als wenn man die Jupitermasse vernachlässigen dürfte, und zwar in dem Verhältnisse $1 + \frac{1}{1048}$ oder $\frac{1049}{1048}$. Dann ergiebt aber auch die Gleichung

$$s = \frac{4\pi^2 \cdot a^3}{T^2} \cdot \frac{1}{r^2}$$

nicht die Beschleunigung, welche für einen Körper mit verschwindender Masse in der Abstandseinheit stattfinden müßte, sondern deren Produkt mit $1 + \frac{1}{1048}$. Und wenn allgemein m_1 und m_2 die Massen zweier Planeten bezeichnen, auf die Sonnenmasse als Einheit bezogen (also z. B. $m_{♃} = \frac{1}{1048}$), so ergiebt die Ableitung an der Fig. 77:

$$s\,(1 + m_1) = \frac{4\pi^2 \cdot a_1^3}{T_1^2};\quad s\,(1 + m_2) = \frac{4\pi^2 \cdot a_2^3}{T_2^2};$$

hier ist $\frac{1}{r^2}$ gleich weggelassen, wodurch s auf die Einheit der Entfernung bezogen wird. Die Division der Gleichungen durcheinander ergiebt:

$$\frac{1 + m_1}{1 + m_2} = \frac{a_1^3 \cdot T_2^2}{T_1^2 \cdot a_2^3},\quad \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3\,(1 + m_2)}{a_2^3\,(1 + m_1)}.$$

Die Klammerfaktoren in dem letzten Ausdrucke lehren, daß das dritte Keplersche Gesetz nur eine Annäherung an die Wahrheit ist, wenn jene Gegenwirkung der Planeten auf die Sonne stattfindet; allerdings eine sehr gute Näherung, da im Sonnensystem die Größen m sehr kleine Brüche sind. Es liegt nahe, die Theorie noch einmal durch die Thatsachen zu prüfen. Gelten die Zeiger 1 und 2 für ♁ und ♃, so haben wir rund $m_1 = 1 : 330\,000$; $m_2 = 1 : 1050$; $1 + m_1 = 1{,}000003$; $1 + m_2 = 1{,}00095$. Rechnet man fünfstellig[1], so hat man auf Grund der aus den Beobachtungen ermittelten genauern Werte der Größen:

$$\begin{aligned} 3 \log a_1 &= 0{,}00000 \\ \log (1 + m_2) &= 0{,}00041 \\ 3 \log a_2 &= 2{,}14871 \\ \log (1 + m_1) &= 0{,}00000\,^{2} \\ \log \frac{a_1^3\,(1 + m_2)}{a_2^3\,(1 + m_1)} &= 7{,}85170 - 10. \end{aligned} \qquad \begin{aligned} \log T_1 &= 2{,}56258 \\ \log T_2 &= 3{,}63655 \\ \log \frac{T_1}{T_2} &= 8{,}92603 - 10 \\ \log \frac{T_1^2}{T_2^2} &= 7{,}85206 - 10. \end{aligned}$$

Die Übereinstimmung ist recht gut; das folgende Kapitel wird lehren, woher der kleine, aber doch bemerkbare Fehler rührt. Er würde, wenn man im Zähler links den Faktor $1 + m_2$, also in dessen Logarithmus den Summanden 0,00041 weggelassen hätte, über doppelt so groß ausfallen. Wir nehmen daher die Gegenwirkung des Jupiter auf die Sonne als erwiesen an. Eine ähnliche Gegenwirkung wird die Sonne von jedem andern Planeten erfahren.

Man denke sich nun zwischen Sonne und Jupiter einen Punkt, der im umgekehrten Verhältnisse der Massen von den beiden Körpern entfernt ist, also von der Sonne eine 1048mal kleinere Entfernung hat als vom Jupiter. Man nennt diesen Punkt den gemeinsamen Schwerpunkt der beiden Körper. Könnte man eine gewichtslose unbiegsame Stange durch die beiden Körper bohren, und würden sie von einer riesigen Erdkugel angezogen, der gegenüber das System verschwindend klein wäre, so brauchte man dem Hebelgesetze zufolge nur den Schwerpunkt zu unterstützen, um Gleichgewicht zwischen den beiden Massen herzustellen. Jeder Annäherung Jupiters an den Schwerpunkt entspricht wegen der Gegenwirkung eine 1048mal geringere Annäherung der Sonne an denselben Punkt; verschiebt sich Jupiter in irgend einer Richtung gegen die Sonne um den Betrag x, so wird der Schwerpunkt dadurch um $\frac{x}{1049}$ in derselben Richtung im Raume verschoben; vom Schwer-

[1] Der aufmerksame Leser wird bemerken, daß der Wert $s = 0{,}000296$ eigentlich auch mit Rücksicht auf die Erdmasse verbessert werden müßte, daß aber bei wenigen Stellen die Verbesserung unmerklich bleibt, weil die Erdmasse, wie vorhin abgeleitet, nur 0,000003 der Sonnenmasse beträgt. Vgl. S. 223, bezüglich der andern Werte S. 210.

[2] Vgl. die vorige Note.

punkte aus gesehen verschiebt sich also ♃ nur um $\frac{1048\,x}{1049}$, während sich die Sonne nach der entgegengesetzten Richtung um $\frac{x}{1049}$ verschiebt. Es entspricht also jeder Bewegung Jupiters eine 1048mal kleinere Bewegung der Sonne im entgegengesetzten Sinne; die Sonne beschreibt also in zwölf Jahren auch eine Ellipse um den gemeinsamen Schwerpunkt, aber eine 1048mal kleinere als Jupiter. Die beiden Körper bewegen sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt.

Zugleich sehen wir, daß die Sonne im ganzen eine höchst verwickelte Bewegung ausführen muß, da jeder Planet für sich seine Gegenwirkung auf sie ausübt. So muß sie z. B. auch den weit größern Kreislauf des Saturn abbildlich mitmachen. Da jedoch dieser Planet 3500mal massenärmer ist als die Sonne, so ist die von dieser beschriebene Bahn viel kleiner als die durch Jupiter erzwungene, obgleich Saturn fast doppelt so weit von der Sonne entfernt ist. Überhaupt erzielt kein Planet eine so merkbare Gegenwirkung wie der massenhafte Jupiter. Es erhebt sich die Frage, ob nicht diese Schwankungen der Sonne, so klein sie an sich wegen der überwiegenden Masse sein mögen, doch ein dauerndes Zusammenbestehen der elliptischen Planetenbewegungen unmöglich machen. Sie wird durch eine allgemeine Betrachtung beantwortet werden.

* * *

Es wird uns im Verlaufe der Untersuchung klar geworden sein, daß wir nicht umhin können, eine allgemeine gegenseitige Anziehung aller Körper des Sonnensystems anzunehmen, da wir keinem die rätselhafte Kraft absprechen können, die wir bei so vielen gefunden haben, also wohl für eine allgemeine Eigenschaft der Materie halten müssen. Warum kommt nun trotz der vielen Anziehungen nicht alles in Verwirrung? Acht große Hauptplaneten mit 21 Monden, über 400 kleine Planeten und dazwischen die allgewaltige Sonne ergeben eine fast unübersehbare Menge von einzelnen Anziehungen, deren vollständige Berechnung rein unmöglich wäre, selbst wenn wir die Massen alle genau kennten; denn schon das Problem der drei Körper gehört zu den schwierigsten in der Wissenschaft. Glücklicherweise gestaltet sich die Sache im einzelnen etwas günstiger.

1. Die Sonne zieht nicht nur den Jupiter an, sondern auch alle seine Monde. Da sich aber diese Körper immer in größter Nähe des ♃ selbst aufhalten, so erfahren sie ziemlich genau dieselbe Beschleunigung wie Jupiter. Selbst für den äußersten von ihnen beträgt, wie wir oben (S. 222) abgeleitet haben, der mittlere Abstand vom Centralkörper nur 0,0126 Einheiten des Sonnensystems oder 0,00242 von der 5,2mal so großen mittlern Sonnenentfernung Jupiters. Wenn nun dieser Mond einmal zwischen ♃

und der ⊙ steht, so ist er der ⊙ um den genannten Betrag näher als ♃. Der Abstand r der ⊙ vom ♃ wird für den Trabanten r (1 — 0,00242); das Quadrat wird[1] r^2 (1 — 0,0048); ferner wird $\frac{1}{r^2} : \frac{1}{r^2(1 - 0{,}0048)}$ ziemlich genau gleich $\frac{1{,}0048}{r^2}$. Mit andern Worten: in dieser ungünstigsten Stellung ist doch die Beschleunigung, die der Trabant erfährt, noch fast genau ebenso groß wie die dem ♃ selbst erteilte. Steht der Trabant hinter dem ♃, so bekommt man die ebenso geringe Abweichung im entgegengesetzten Sinne. Diese Stellungen wechseln während des $16^2/_3$tägigen Umlaufes so schnell miteinander und den mittlern Stellungen ab, daß die gesamte Störung nicht allzu groß wird. Das gilt natürlich erst recht für die innern Monde des Jupiter. Ähnlich ist es mit den acht Monden des Saturn, den vier Monden des Uranus und dem einen Neptunsmonde bestellt. Mars ist zwar viel näher bei der Sonne als Jupiter; die Abstände seiner zwei Monde von ihm sind dafür aber auch so gering und die Umläufe so schnell, daß von einer Störung derselben durch die Sonne noch weniger als bei den Satelliten der andern Planeten geredet werden kann.

2. Weit ungünstiger steht die Sache für den Erdmond. Seine mittlere Entfernung von der ♁ beträgt 0,002571 vom mittlern Sonnenabstande. Ist diese Zahl schon etwas größer als die entsprechende selbst beim äußersten Jupitermonde, so tritt auch noch eine viel längere Umlaufszeit hinzu, die den Sonnenstörungen an den einzelnen Stellen Zeit giebt, um sich aufzuhäufen. Darum wird die Bewegung des Mondes durch die Sonnenstörungen, die natürlich bald in dem einen, bald in dem andern Sinne wirken, verhältnismäßig sehr stark beeinflußt. In den Vierteln erfährt der Mond ungefähr dieselben Antriebe wie die Erde; der Neumond wird stärker, der Vollmond schwächer von der Sonne angezogen als die Erde.

3. Noch in einer andern Beziehung steht der Mond unserer Erde unter den Satelliten des Sonnensystems einzig da. Während die andern Nebenplaneten ihren Centralkörpern gegenüber fast verschwindend kleine Massen besitzen[2], beträgt die Mondmasse, wie man sie nach einer später zu besprechenden Methode berechnet hat, $^1/_{81}$ der Erdmasse. Nirgendwo im Sonnensystem finden wir ein so großes Verhältnis wieder. Der gemeinsame Schwerpunkt von ♁ und ☾ liegt demnach, da der Abstand 384 400 km beträgt, 384 400 km : 82 = 4688 km vom Centrum der Erde entfernt. Da der

---

[1] Ist μ eine kleine Größe, so ist näherungsweise $(1 - \mu)^2 = 1 - 2\mu$, da μ^2 als sehr klein zu vernachlässigen ist. Ferner erhält man $1 : (1 - 2\mu) = 1 + 2\mu$, da $(1 - 2\mu)(1 + 2\mu) = 1 - 4\mu^2$ und auch $4\mu^2$ sehr klein ist.

[2] Die Massen der Jupitermonde, die man aus ihren gegenseitigen Störungen berechnet hat, machen zusammen nur etwas mehr als den 6000. Teil der Masse ihres Centralkörpers aus.

Erdradius 6377 km beträgt, so liegt der Punkt zwar noch im Innern der Erde, aber sie muß doch um diesen Punkt kreisen, also hin und her schwanken, und man darf, wenn man die Bewegung der ♁ um die ☉ betrachtet, nicht sagen, daß das Centrum der Erde eine Ellipse um die Sonne[1] ziehe, sondern der Schwerpunkt des Systems Erde-Mond. Diese Schwankung der Erde zeigt sich uns in einer scheinbaren Sonnenschwankung, die natürlich äußerst gering, aber doch bemerkbar ist. Man bezieht die beobachteten Sonnenörter nach Abzug der täglichen Parallaxe auf das Centrum der Erde, und da dieses selbst eine kleine Ellipse mit der großen Halbachse von 4687 km in $27^1/_3$ Tagen beschreibt, so zieht die Sonne scheinbar einen kleinen Epicykel von dieser Größe, dessen Radius zur Sonnenweite das Verhältnis $\frac{4687}{149{,}5 \text{ Millionen}} = \frac{1}{31\,890}$ hat. Leicht berechnet man hieraus mit Hilfe des mehrerwähnten[2] Faktors 206 265, daß der Radius dieses Epicykels im Winkel $6'',5$ beträgt. Genau derselbe Wert ergiebt sich aus den Beobachtungen der Sonne; es ist also die sogen. Mondgleichung der Erde ein wichtiger Beweis dafür, daß das angenommene Verhältnis des Sonnenabstandes zum Mondabstande das richtige ist, und daß man auch die Mondmasse richtig bestimmt hat. Wir haben hier ein neues Bindeglied in der Kette der Beweise für die Richtigkeit der durch Coppernicus eingeleiteten und durch Newton vollendeten neuern Auffassung der Himmelserscheinungen. Merkwürdig ist es auch, daß dieser Epicykel um 5^0 gegen die Ekliptik geneigt ist, wie die Mondbahn. Obgleich diese Neigung gering ist, kann man doch nicht mehr in aller Strenge sagen, daß sich das Centrum der Sonne durch die Ekliptik zu bewegen scheine. Das Centrum ist in der 27tägigen Periode nur zweimal genau in der Ekliptik, sonst weicht es davon ab — allerdings nur um Bruchteile der Bogensekunde.

4. Für die andern Planeten hat man solche Mondgleichungen nicht nötig, da, wie erwähnt, ihre Trabanten relativ sehr massenarm sind. Es lassen sich ferner auch die Störungen, welche ein Planet auf die Monde eines andern ausübt, vernachlässigen, da sie sich von den an sich schon kleinen Störungen, die auf die Centralkörper ausgeübt werden, nur um noch viel kleinere Beträge unterscheiden. Da ferner die gesamte Anziehung der Fixsterne auf das Sonnensystem, mag sie nun übrigens so groß oder so klein angenommen werden, wie man will, des unermeßlichen Abstandes wegen alle Glieder unseres Systems in gleichem Maße beeinflußt, so ist auch sie außer acht zu lassen.

[1] Eigentlich auch wieder um den gemeinsamen Schwerpunkt der drei Körper ☉, ♁, ☾.

[2] Vgl. S. 205.

5. Es ist ferner leicht zu begreifen, daß die Störung der innersten Planeten durch die äußersten aus demselben Grunde sehr gering sein muß, wie die Störung der Monde durch die Sonne. So ist Neptun fast 80mal so weit von der Sonne entfernt wie Merkur. Neptun stört die Sonne, d. h. er sucht sie in einer elliptischen Bahn um den gemeinsamen Schwerpunkt zu bewegen. Da jedoch Merkur immer ziemlich genau dieselben Antriebe durch Neptun erfährt, so wird sein Lauf in Bezug auf die Sonne kaum gestört.

6. Das wird anders, wenn man sich in die mittlern Gegenden des Systems begiebt. So kann z. B. die Störung der Erde durch Jupiter keineswegs vernachlässigt werden. Immerhin hat man sie zum Teil berücksichtigt, wenn man annimmt, daß die ♁ vom ♃ stets denselben Antrieb erfahre wie die ☉, oder wenn man den gemeinsamen Schwerpunkt von ♃ und ☉ als Anziehungspunkt ansieht. Da aber die Entfernung des ♃ von der ♁ nicht wirklich = 5,2 bleibt, sondern zwischen 4,2 und 6,2 schwankt, so bleibt noch ein Rest zu berücksichtigen. Wie das geschieht, darauf kann hier nicht eingegangen werden.

7. Die kleinen Planeten füllen den Raum zwischen den Bahnen des Mars und des Jupiter aus; viele von ihnen kommen dem ♃ recht nahe und erfahren dann sehr starke Störungen. Diese Störungen, die sich in einer Veränderung der einmal durch Beobachtung bestimmten Bahnlage, Excentricität und Perihellänge u. s. w. zeigen, gestatten einen Rückschluß auf die Masse des Jupiter in ihrem Verhältnis zur Sonnenmasse. Man findet wieder, wie aus den Trabanten, 1 : 1048. Daß überhaupt die Störungen aus den Massen vorausberechnet werden können, ist wieder ein Beweis für die Richtigkeit des Anziehungsgesetzes. Es mag noch bemerkt werden, daß die Massen der kleinen Planeten der geringen Größe entsprechend so winzig sind, daß sie weder einander noch die großen Planeten stören können.

8. Da Jupiter und Saturn die massenhaftesten Planeten sind und der eine noch nicht doppelt so weit von der Sonne absteht als der andere, so müssen sie einander ziemlich beträchtlich stören. Es tritt hier ein Umstand verschärfend hinzu, nämlich das Verhältnis der Umlaufszeiten. Dieses läßt sich ziemlich genau durch den Bruch $^2/_5$ wiedergeben, d. h. es sind bis auf einen kleinen Fehler zwei Saturnumläufe gleich fünf Jupiterumläufen. In dieser Periode wiederholen sich also nahezu die gegenseitigen Stellungen: hat heute das Dreieck ☉ ♃ ♄ eine bestimmte Gestalt, so hat nach etwa 59 Jahren Jupiter genau fünfmal, Saturn genau zweimal den Weg um die Sonne gemacht; das alte Dreieck ist also wiederhergestellt. Die Folge davon ist, daß bestimmte Stellungen, wo die Störung besonders groß ist, ziemlich bald wiederkehren und daß somit eine Aufhäufung von Störungen stattfindet. Wäre das Verhältnis nicht durch so kleine Zahlen darstellbar, so würde nicht sobald dieselbe Stellung wiederkehren. Schließlich

macht sich die Abweichung natürlich geltend, es treten andere Stellungen ein, welche umgekehrte Wirkungen zur Folge haben. Aber während langer Zeiträume ist die Umlaufszeit des einen und des andern Planeten infolge der Störungen abwechselnd größer und dann wieder kleiner als der mittlere Betrag. Es ist Laplace gelungen, diese Erscheinung vollständig aus der Anziehung der Körper aufeinander zu erklären. Die größte Abweichung vom mittlern Orte beträgt im Winkel bei ♃ 1187″, beim ♄ 2873″.

9. Im übrigen auf die Störungen einzugehen müssen wir uns hier versagen. Sie sind im allgemeinen so gering und wegen der Inkommensurabilität der Umlaufszeiten, d. h. der Unmöglichkeit, deren Verhältnisse genau durch kleine Zahlen anzugeben, so wechselnd, daß der Bestand des ganzen Systems auf unabsehbare Zeit für gesichert erklärt werden kann. Einige besonders auffallende Störungen der Erde wird das nächste Kapitel besprechen.

Neunzehntes Kapitel.

Präcession und Nutation. — Siderische Umlaufszeiten. — Änderungen der Schiefe der Ekliptik, des Perihels und der Excentricität der Erdbahn.

Unter den Störungen im Planetensystem sind natürlich die, welche die Erde erfährt, die wichtigsten. Es giebt darunter zwei, die weniger den Ort im Raume als die Lage der Achse betreffen. Um sie kennen zu lernen, wenden wir uns jetzt einem Gegenstande zu, der auf den ersten Blick nichts damit zu schaffen hat.

Man betrachte die Fig. 5 (S. 11), worauf der Große Bär dargestellt ist, und vergleiche sie mit der Karte I der Circumpolarsterne am Ende dieses Buches. Es sind weder die Unterschiede in den Sternzeichen noch im Entwurfe des Gradnetzes, worauf Gewicht zu legen ist, wohl aber die bald erkennbare verschiedene Stellung der Sterne zum Gradnetz auf den beiden Karten. Die Karte des Großen Bären ist aus einem in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts erschienenen Atlas gezogen, die Circumpolarsternkarte entspricht den Beobachtungen des Jahres 1890. Wir wollen sie kurz die alte und die neue Karte nennen. Auf jeder Karte finden wir eine Anzahl von Sternen ihrer RA und Decl entsprechend eingetragen; die neue enthält, den Zwecken dieses Buches entsprechend, nur die hellern Sterne bis zur fünften Größe hinab, die alte eine weit größere Zahl.

Vergleicht man sorgfältig die Stellungen der hellern Sterne, z. B. der allbekannten Figur des Wagens $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta\eta$ auf den beiden Karten, so zeigt sich, daß alle Sterne auf der neuen Karte größere Rektascensionen haben als auf der alten. Etwas schwieriger, aber doch auch sicher, ist zu erkennen, daß die Deklinationen alle abgenommen haben. Auch die schwächern Sterne, soweit sie auf beiden Karten stehen, lassen die Änderungen erkennen. Die gegenseitige Stellung der Bärensterne ist aber unverändert geblieben.

Wir versuchen nun diese Änderungen zu deuten, indem wir auf den Begriff der RA und Decl zurückgehen. Da sich nachher die Notwendigkeit herausstellen wird,

auch Länge und Breite zu berücksichtigen, so sollen auch diese wieder erklärt werden. Es giebt nach unsern frühern Angaben im Raume eine feste Ebene, nämlich die der Ekliptik; das ist die Ebene, worin die von dem gemeinsamen Schwerpunkte der Erde und des Mondes um die Sonne gezogene Ellipse liegt. Es giebt in dieser Ebene eine feste Linie, die wir durch die Sonne legen wollen, nämlich die Linie, zu welcher die Durchschnittslinie der Ebene des Erdäquators und der Ekliptik beständig parallel bleibt. Das ist die Nachtgleichenlinie, deren unendlich ferne Punkte Frühlings- und Herbstpunkt heißen gemäß den frühern Feststellungen. Eine zweite feste Linie legen wir gleichfalls durch die Sonne, und zwar in der Neigung von $66\frac{1}{2}°$ gegen die Ekliptikalebene zur Gegend des Polarsternes hin. Zu dieser Linie bleibt die Erdachse fortwährend parallel. Wir wollen sie als Richtung zum Polarstern[1] bezeichnen. Endlich errichten wir auf der Ekliptikalebene eine durch die Sonne gehende Senkrechte, die Richtung zum Pol der Ekliptik.

Der Winkel zwischen der Gesichtslinie zu einem Stern und der Richtung zum Polarstern hat zum Komplement den Winkel, den wir Deklination des Sternes nennen. Der Winkel zwischen der Gesichtslinie zum Stern und der Richtung zum Pol der Ekliptik hat zum Komplement die Breite des Sternes. Die Ebene, welche durch die Gesichtslinie und die Richtung zum Polarstern gelegt werden kann, macht mit der Ebene, welche durch die Nachtgleichenlinie und die Richtung zum Polarstern geht, einen Winkel, den man Rektascension nennt, während mit einer durch die Nachtgleichenlinie und die Richtung zum Ekliptikalpole gelegten Ebene die Ebene durch die Richtung zum Pol der Ekliptik und die Richtung zum Stern einen Winkel macht, der als Länge des Sternes bezeichnet wird.

Alle diese Erklärungen treffen auch noch zu, wenn wir die zur Orientierung dienenden Ebenen und Linien nicht durch die feste Sonne[2], sondern durch die bewegliche Erde legen, d. h. wenn wir die RA und Decl durch irdische Beobachtungen feststellen. Denn die jährliche Parallaxe ist entweder verschwindend klein, oder sie ergiebt sich aus vielen Beobachtungen eines Jahres, so daß wir doch immer die heliocentrische, von der Sonne aus gerechnete RA und Decl erhalten können.

Hat man nun eine Reihe von Jahren hindurch die RA und Decl einer großen Anzahl von Sternen durch sorgfältige Beobachtungen ermittelt, so macht man die Erfahrung, daß diese Größen in einer beständigen Änderung begriffen sind: die RA wachsen beständig, während die Decl für einen Teil der Sterne eine sehr geringe Zunahme, für den andern eine sehr geringe Abnahme erfahren. Es ist klar, daß das System der Längen und Breiten davon nicht unberührt bleiben kann. Rechnet man nun nach den früher (S. 81—82) dafür ermittelten Formeln die RA und Decl auf Längen und Breiten um, so zeigt sich überraschenderweise, daß hier die Änderungen viel regelmäßiger verlaufen; nämlich in folgender Weise:

1. Die Längen aller Sterne wachsen ziemlich gleichmäßig, und zwar im Durchschnitt jährlich um 50″,2, was in 72 Jahren ungefähr einen Grad und in knapp 26 000 Jahren 360° oder einen vollen Umlauf ausmacht.

2. Die Breiten ändern sich so wenig, daß für eine erste Betrachtung ganz davon abgesehen werden darf.

---

[1] Der Kürze halber; in Wahrheit steht ja (vgl. S. 16) der Polarstern nicht genau in dieser Richtung.

[2] Sie wird hier als fest betrachtet, da ihre kleinen Bewegungen, die im vorigen Kapitel untersucht wurden, gegen die Jahresbewegung der Erde sehr klein sind.

Die Thatsache dieser Längenänderung hat schon Hipparch, der größte Astronom des griechischen Altertums, durch Vergleich seiner Beobachtungen mit ältern Angaben[1] festgestellt. Man kann umgekehrt hieraus leicht die Änderungen der RA und Decl finden, und zwar auf Grund der sphärischen Umrechnungsformeln S. 81—83. Bereits zu einem andern Zwecke hatten wir uns der Formel

$$\frac{\triangle \delta}{\triangle \lambda} = + \cos \alpha \sin \varepsilon$$

bedient, welche besagt, daß einer jeden sehr kleinen Änderung der Länge λ eine noch kleinere Änderung der Deklination δ entspricht; sie ist kleiner zunächst im Verhältnisse $\sin \varepsilon$, also 0,40 für $\varepsilon = 23^1/_2{}^0$; dann aber in einem Verhältnisse, das sich mit α ändert, im ersten und vierten Quadranten positiv, im zweiten und dritten negativ ist und bei 90° und 270° durch null geht. Verhältnismäßig große negative Beträge der Verschiebung zeigen im gegenwärtigen Zeitalter die Decl der Bärensterne, weil hier $\cos \alpha$ einen ziemlich großen negativen Wert besitzt; so zeigt sich die Verschiebung schon auf unsern beiden Karten, die noch nicht ein Jahrhundert auseinanderliegen. Man kann die Änderung der Decl durch $n \cos \alpha$ ausdrücken. Für die Änderung der RA erhält man einen ähnlichen Ausdruck $m + n \tan \delta \sin \alpha$, wo n dieselbe Bedeutung wie oben hat. Wir wollen auf die Ableitung dieser Formel[2] hier nicht eingehen, uns vielmehr nun zu einer Betrachtung der Ursachen und der Wirkungen dieser eigentümlichen Vorrückung oder Präcession der Gestirne wenden.

Es wachsen also ziemlich regelmäßig und für alle Fixsterne in derselben Weise die Längen, d. h. die Winkel, welche die durch je einen Stern und die Sonne senkrecht zur Ekliptikalebene gelegten Ebenen mit einer bestimmten festen Ebene bilden, die gleichfalls durch die Sonne senkrecht zur Ekliptikalebene gelegt ist. Wir haben nun die Wahl zwischen zwei Annahmen:

Entweder verschieben sich alle einzelnen Fixsterne jährlich im Sinne der wachsenden Länge, für einen nördlichen Beobachter also gegen den Zeiger, so viel im Raume, daß die Längen um 50″,2 zunehmen; die Verschiebungen müssen sich dann nach einem bestimmten Gesetze mit der Breite verringern, nämlich dem $\cos \beta$, außerdem aber den Entfernungen der Sterne proportional erfolgen.

Oder es hat sich die angeblich feste Ebene gedreht, die man durch den Pol der Ekliptik und die Nachtgleichenlinie gelegt hat.

Die Entscheidung zwischen diesen beiden Annahmen kann dem nicht schwer fallen, welcher die unermeßliche Entfernung der Fixsterne und überhaupt alle die Gründe erwägt, die auch gegen ihre tägliche Bewegung sprechen. In der That, wenn die Größe nicht nur der Erdkugel, sondern sogar der Erdbahn der Entfernung eines beliebigen Fixsternes gegenüber im allgemeinen einfach gleich null gesetzt werden kann, was sollte dann den weit entfernten Fixstern veranlassen, sich parallel der Bahnebene der Erde zu bewegen? Wodurch sollten so viele Millionen von Fixsternen, wie

[1] Durch die Erscheinung eines neuen Sternes (vgl. darüber Kap. 36) zur Herstellung eines Sternverzeichnisses im Jahre 134 veranlaßt, maß Hipparch die Stellungen der hellern Sterne neu aus und fand nun, indem er sie mit den 150 Jahre früher von Aristyll und Timocharis bestimmten Stellungen verglich, den erwähnten Längenzuwachs.

[2] Sie wird durch Anwendung der Differentialrechnung auf die Umrechnungsformeln gefunden. Die Formel für die Zunahme von δ gilt nicht nur für die Sonne (S. 83), sondern bei konstantem β auch für jeden Stern, wie man nach Differentiation der Formel 8 (S. 82) leicht mit Hilfe der Formel 9 (ebenda) nachweist.

sie uns das Fernrohr zeigt, alle zu einer Bewegung nach demselben Gesetze gezwungen werden, deren Endergebnis das wäre, daß gerade für uns, die Bewohner des Sonnensystems, die gegenseitige Stellung der Fixsterne ungeändert bliebe? Nein, es muß sich die Lage der Nachtgleichenlinie geändert, diese Linie muß sich jährlich um 50″ gedreht haben, und zwar offenbar im Sinne der abnehmenden Länge, für einen nördlichen Beobachter also mit dem Uhrzeiger.

Da sich nun die Durchschnittslinie zweier Ebenen gedreht hat, so fragt es sich weiter, wie sich die Ebenen selbst dabei verhalten haben. Die Ekliptikalebene behält, wie die Beständigkeit der Breiten der Fixsterne lehrt, im ganzen ihre Lage im Weltraume bei. Da auch die Schiefe der Ekliptik im ganzen konstant ist, so hat die Äquatorebene eine Drehung erfahren. Um diese genauer zu erklären, betrachten wir die Bewegung der darauf senkrechten Erdachse. Nach den frühern Angaben bleibt die Linie, welche man parallel zu der Erdachse in jeder ihrer verschiedenen Lagen durch die Sonne ziehen kann, beständig in derselben Lage. Diese Behauptung müssen wir jetzt fallen lassen. Die Parallele führt eine sehr langsame kegelförmige (konische) Bewegung aus, und zwar im Sinne des Uhrzeigers für den nördlichen, gegen diesen Sinn für den südlichen Beobachter; der Öffnungswinkel des Kegels ist die Schiefe der Ekliptik, seine im ganzen feste Achse ist die Richtung zum Pol der Ekliptik. Indem sich die Mantellinie des Kegels in 26 000 Jahren einmal herumdreht, beschreiben ihre Spuren an der Sphäre zwei kleine Kreise von $23\frac{1}{2}°$ Radius, deren Centra die Ekliptikalpole sind. Zu verschiedenen Zeiten hat man darum verschiedene Polarsterne. Mit der Weltachse dreht sich die darauf senkrechte Äquatorebene, so daß ihre Durchschnittslinie mit der Ekliptikalebene, die Nachtgleichenlinie, sich in 26 000 Jahren einmal in der Ekliptikalebene herumgedreht hat. Bei gehörigem Nachdenken wird man sich leicht den jährlichen Erdenlauf in seiner Verbindung mit der so viel langsamern konischen Drehung der Erdachse und der Äquatorebene vorstellen können.

Die Erklärung der Ursachen für diese Präcessionsbewegung noch zurückhaltend, wollen wir jetzt ihre Folgen betrachten.

Da die Sichtbarkeitsbedingungen für die Fixsterne von ihrer Stellung zum Nordpol und Frühlingspunkte abhangen, so erleiden diese Bedingungen durch die Präcession einen beständigen Wechsel. So beträgt die allgemeine Änderung der Längen jährlich 50″,2, also 10800″ oder 30° in 2151 Jahren. Nun stehen der Ekliptik entlang die zwölf Sternbilder des Tierkreises in sehr ungleicher Größe, die aber im Durchschnitt für jeden 30 Längengrade beträgt. Liegt also heute der Frühlingspunkt in einem bestimmten Sternbilde, so liegt er nach 2151 Jahren in dem nächstvorgehenden; vor 2151 Jahren aber hat er in dem nächstfolgenden Sternbilde gelegen. Denn der Frühlingspunkt bewegt sich in der Ekliptik gegen die Richtung der wachsenden Längen, also auch gegen die Reihenfolge, worin die zwölf Sternbilder von der Sonne durchlaufen werden. Gegenwärtig liegt, wie unsere Sternkarte[1] zeigt, der Frühlingspunkt in den Fischen, der Herbstpunkt in der Jungfrau. Es hat also vor 2151 Jahren, d. h. im 3. Jahrhundert vor Christus, oder wegen der Langsamkeit

[1] Man beachte hier wieder, was schon früher gesagt ist: Die Reihenfolge Widder, Stier, Zwillinge ꝛc. scheint von der Sonne im Uhrzeigersinne durchlaufen zu werden, wenn man den Tierkreis von der Mitte der Karte aus betrachtet. Bedenkt man jedoch, daß die Karte ein Bild der hohlen Sphäre ist, und daß wir selbst im Centrum der Ekliptik wie überhaupt jedes größten Kugelkreises stehen, so zeigt sich, daß das wirklich der entgegengesetzte Sinn ist.

der Änderung im klassischen Altertum überhaupt, der Frühlingspunkt im Widder und der Herbstpunkt in der Wage gelegen. Das Sommersolstiz, jetzt in den Zwillingen, war damals im Krebs; das Wintersolstiz, heute im Schützen, hat damals im Steinbock gelegen. Für die 12 Sternbilder hat man folgende Arten von Bezeichnungen[1]:

Aries	Taurus	Gemini	Cancer	Leo	Virgo	Libra	Scorpius
♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏
0	30	60	90	120	150	180	210
Widder	Stier	Zwillinge	Krebs	Löwe	Jungfrau	Wage	Skorpion

Sagittarius	Capricornus	Aquarius	Pisces
♐	♑	♒	♓
240	270	300	330
Schütze	Steinbock	Wassermann	Fische.

Die obere Reihe von Bildchen ist ohne weiteres verständlich. In der untern erkennt man leicht die Hörner des Widders und des Stiers, die Schweifbewegung des Löwen, die Wage, den Wellenschlag des Wassermanns, den Pfeil des Schützen und die Bildpaare der Zwillinge und Fische. Das Zeichen für den Krebs soll die Vor- und Rückwärtsbewegung des Tieres andeuten, das für den Steinbock die Anfangsbuchstaben von τράγος (Bock); die beiden noch übrigen Zeichen sind bedeutungslos.

In der ältern Zeit, als der Frühlingspunkt im Widder lag, gewöhnte man sich daran, die Frühlingsnachtgleiche als Eintritt der Sonne in den Widder zu bezeichnen, die Sommersonnenwende als Eintritt in den Krebs[2], die Herbstnachtgleiche als Eintritt in die Wage und die Wintersonnenwende als Eintritt in den Steinbock[2]; man bezeichnete mit ♈ einfach die Länge 0°, mit ♉ die Länge 30° u. s. w., wie es oben bei den Zeichen angegeben ist. Man sagte z. B. ferner, die Sonne oder auch der Mond oder ein Planet hat die Länge ♑ 19°, wenn die geocentrische Länge dieses Himmelskörpers 270° + 19° = 289° betrug. Die Zeichen sind später beibehalten worden, obgleich sie durch die Präcession ihren Sinn verloren. Sagt man jetzt, daß die Sonne in einem bestimmten Zeichen stehe, in den sogen. Hundstagen z. B. im Zeichen des Löwen, so meint man damit das bestimmte Längengebiet von 120° bis 150°; die Hauptgruppe vom Sternbilde des Löwen erreicht die Sonne erst später. Unsere Volkskalender geben auch die mittlere Länge des Mondes[3] an, gewöhnlich nur nach dem Zeichen des Tierkreises, nicht nach Graden. Da der Tierkreis in 27⅓ Tagen vom Monde durchlaufen wird, wechselt das Zeichen alle zwei oder drei Tage. Man kann der Regel nach annehmen, daß der Mond in dem Sternbilde steht, welches dem angegebenen Zeichen vorhergeht; so wird er gewöhnlich in der Wage stehen, wenn der Kalender den Skorpion angiebt. Bekanntlich wird

[1] Die lateinischen Bezeichnungen hier nach der gewöhnlichen Art; die Gedächtniszeilen S. 66 haben des Versmaßes halber zum Teil etwas geänderte Wörter.

[2] Auch die Namen der Wendekreise erklären sich hierdurch.

[3] Also nicht seine wahre Länge, die infolge des verwickelten Laufes in der excentrischen Bahn um mehr als 6° von der der Zeit proportional wachsenden mittlern Länge abweichen kann. Für die rohe Näherung der Kalender kann man die Begriffe als gleichwertig betrachten. Die Angaben gelten in Deutschland für den mittlern Berliner Mittag.

mit diesen Kalenderzeichen des Mondes von unwissenden Menschen noch immer Aberglauben getrieben.

In dem oberägyptischen Dorfe Denderah (Tentyris) entdeckten französische Gelehrte auf Bonapartes Feldzuge im Jahre 1798 in der Vorhalle eines Hathortempels eine bildliche Darstellung der Sternbilder, und zwar vorzüglich der Tierkreisbilder, als Deckengemälde. Da hier der Löwe dem Eingange zunächst war, schloß man voreilig auf ein sehr hohes Alter der Anlage, indem man annahm, sie sei zu einer Zeit gemacht worden, wo die Sommersonnenwende[1] im Sternbilde des Löwen lag. Wegen der großen Ausdehnung dieser Konstellation hatte man auch dann noch einen ziemlichen Spielraum für die Zeit der Erbauung des Tempels; die Mitte des Löwen ergiebt 4300 v. Chr. Spätere Untersuchungen der Ägyptologen haben gezeigt, daß der Tierkreis von Denderah erst in der römischen Kaiserzeit angelegt worden ist. Wir geben (Fig. 78) eine Abbildung dieses Tierkreises.

Die lateinischen und griechischen Dichter gedenken häufig des heliakischen Auf- und Unterganges (S. 123) hellerer Sterne als des Anzeichens für Wetteränderungen, die an die Jahreszeit geknüpft sind. Es ist klar, daß selbst unter der Annahme einer größern Beständigkeit der klimatischen Erscheinungen in Italien, als sie in Wirklichkeit vorliegt, jene Angaben jetzt nicht mehr gültig sein können, weil eben die Erdachse ihre Stellung zu den Gestirnen gewechselt hat. Rechnet man die der Karte entnommenen RA und Decl hellerer Sterne (nach S. 81—82) auf Längen und Breiten um, verändert dann die Längen entsprechend der Präcession in der Zwischenzeit, also etwa um 1900 · 50″,2, wenn es sich um Stellen im Horaz handelt, so hat man endlich nur noch das geänderte System der Längen und Breiten (nach S. 81—82) in RA und Decl zu verwandeln, um Angaben zu erhalten, die eine unmittelbare Bestimmung der Sternzeit des täglichen Auf- und Unterganges oder auch der heliakischen, kosmischen und akronychischen Auf- und Untergänge zu gewinnen. Indessen ist der Gang der Präcession etwas unregelmäßig, und er verschmilzt auch noch mit der unten zu besprechenden großen Änderung der Schiefe. Wir müssen uns darum schon des Raummangels wegen die Durchführung eines Beispieles versagen und uns begnügen, auf ein Büchlein[2] hinzuweisen, das dem eifrigen Leser in dieser wie in vielen andern Fragen der astronomischen Chronologie ein trefflicher Wegweiser sein kann.

Die Änderung des Anblickes, den der ganze Fixsternhimmel bei ungeänderter gegenseitiger Stellung der Sterne[3] erfährt, zeigt sich am auffallendsten an den Sternbildern, deren Decl die größte Verschiebung erfahren. Der Große Bär z. B., den der Äquinoktialkolur (S. 39) gegenwärtig ungefähr halbiert, liegt für lange Zeit in einer Gegend, wo $\triangle\delta = n \cos\alpha$ einen sehr großen negativen Wert hat, entsprechend dem Werte von $\cos\alpha$ in der Nähe von 180° oder 12^h. Der Große Bär rückt also Jahrtausende lang vom Nordpol immer mehr ab oder eigentlich der Nordpol von ihm. Homer konnte an mehreren Stellen seiner Heldenlieder von diesem Sternbilde sagen:

Οἴη δ' ἄμμορός ἐστι λοετρῶν Ὠκεανοῖο,

„er allein [von den bekanntesten Sternbildern] netzt sich niemals in den Fluten des Weltmeeres", d. h. er ist [für Griechenland und Kleinasien] circumpolar. Zur Zeit

---

[1] Mit ihr begann das ägyptische Jahr, wenigstens beim Volke.

[2] Astronomische Chronologie. Ein Hilfsbuch für Historiker, Archäologen und Astronomen von Dr. W. F. Wislicenus, Prof. der Astronomie in Straßburg (Leipzig, Teubner, 1895).

[3] Von ihren später zu besprechenden Eigenbewegungen abgesehen.

aber ist die Gruppe durch die Präcession so weit nach Süden gerückt worden, daß für η die Decl bereits kleiner als 50° ist; in der geographischen Breite von 40° geht also η Ursae maioris bereits wirklich auf und unter, und erst recht die südlichern Teile der Konstellation. Die homerische Angabe trifft also heute nicht mehr zu.

Schon oben ist gesagt worden, daß wir allmählich andere Polarsterne bekommen. Auch bei der Bestimmung dieser setzt sich die Änderung der Schiefe mit der Präcession zusammen. Um 2700 v. Chr. war α Draconis unter den hellern Sternen dem Nordpol am nächsten; jetzt ist es bekanntlich α Ursae minoris, der seinen gegenwärtigen Polabstand von 1° 14′ bis zum Jahre 2100 noch auf 0° 28′ verkleinern wird. Dann entfernt er sich wieder vom Nordpol, und in spätern Jahrtausenden werden der Reihe nach γ Cephei, α Cephei, α Cygni auf den Namen des Polarsternes Anspruch haben, bis im Jahre 14 000 α Lyrae mit einem Polabstande von 5° diesen Rang behaupten wird.

Man pflegt auf den Sternkarten das Äquinoktium anzugeben, d. h. den Zeitpunkt, worauf sich die Lage des Gradnetzes bezieht. Für unsere beiden Karten I und III ist die Lage des Frühlingspunktes im Anfange des Jahres 1890 maßgebend gewesen, und darum sind sie mit dem Vermerk „Äquinoktium 1890,0" versehen worden.

* * *

Als wahre Umlaufszeit des Mondes hat man offenbar die Zeit anzusehen, welche der Radiusvektor des Mondes gebrauchen würde, um in sich selbst zurückzukehren, wenn die Erde nicht mit dem Monde um die Sonne liefe. Da sie das aber thut, so muß man die Erklärung anders fassen; man muß die Zeit betrachten, die der Radiusvektor des Mondes gebraucht, um einer bestimmten Anfangslage wieder parallel zu werden [1]. Man bemerke, daß wir auch bei der Erklärung des scheinbaren epicyklischen Laufes der Planeten (S. 163—165) den Begriff des Umlaufes ähnlich bestimmt haben. Man denke sich durch die Sonne und einen beliebigen Fixstern, der in der erweiterten Mondbahnebene liegt, eine Linie gezogen; diese liegt [2] fest im Raume, und jedesmal, wenn der Leitstrahl des Mondes ihr wieder parallel geworden ist, hat der Mond einen wahren Umlauf vollendet. Mit Recht heißt darum der wahre Umlauf auch der siderische [3] Monat. Gerade ihn haben wir im 12. Kapitel, wo so viele Arten des Monats erklärt wurden, im Texte mit Absicht übergangen; wir haben den tropischen Monat oder die Zeit, welche der Mond zum Durchlaufen sämtlicher Längen gebraucht, damit verwechselt oder doch den Unterschied nicht hervorgehoben, und zwar darum, weil die Lehre von der Präcession erst dann leicht verständlich ist, wenn man über die Richtigkeit der von Coppernicus, Kepler und Newton begründeten Weltanschauung keinen Zweifel mehr hat. Da nun die Nachtgleichenlinie selbst beweglich ist, und zwar in einer dem Monde entgegenlaufenden Richtung, so ist der tropische Monat kürzer als der siderische. Es ist

ein siderischer Monat gleich $27^d,3216607 = 27^d\ 7^h\ 43^m\ 11^s,43$,
ein tropischer Monat gleich $27^d,3215813 = 27^d\ 7^h\ 43^m\ 4^s,64$.

---

[1] Die Veränderlichkeit der Mondbahnlage im Raume läßt auch das nicht als ganz scharf erscheinen; es entspricht aber am ersten dem Begriffe, und wenn man die Umläufe auf die Zeit eines vollen Knotenumlaufes (S. 106—108) verteilt, so hat man die Richtigkeit in aller Strenge.

[2] Von den sehr geringen Eigenbewegungen der Sonne und der Fixsterne abgesehen.

[3] Auf der zweiten Silbe zu betonen; kommt von sidus her.



Fig. 78. Tierkreis von Denderah.

Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 237.

Das macht auf den einzelnen Monat nicht viel, im Jahre aber schon mehr als $13 \cdot 6^s{,}79$, also etwa 90^s, in 26 000 Jahren also etwa $2\,340\,000^s$, innerhalb der Grenzen der Genauigkeit ebensoviel wie die Sekundenanzahl eines siderischen Monats (2 360 591). Es ist auch an sich klar, daß, wenn der Frühlingspunkt einmal umgelaufen ist, ein Monat zu wenig gezählt werden mußte, wenn man den tropischen anstatt des siderischen zu Grunde legte.

Wir haben ferner das tropische Jahr, nach dem sich mit den wechselnden Sonnendeklinationen der Gang des Wetters, das Leben der Natur und des Menschen richtet, früher der Kürze halber einfach als Umlaufszeit der Erde angesehen. Natürlich ist es in Wahrheit kürzer. Das siderische Jahr oder die wahre Umlaufszeit der Erde ist wieder die Zeit, die die Erde (oder scheinbar die Sonne) aufwendet, um zu demselben Fixsterne zurückzukehren. Es ist konstant wegen der konstanten Länge der großen Bahnhalbachse, die auch durch die Störungen nicht geändert wird. Es beträgt die Länge

des siderischen Jahres $365^d{,}2563578 = 365^d\ 6^h\ 9^m\ 9^s{,}31$,

des tropischen Jahres $365^d{,}24219987 - 0^d{,}00000062124 \cdot (t - 1850)$
$= 365^d\ 5^h\ 48^m\ 46^s{,}069 - 0^s{,}0053675 \cdot (t - 1850)$, wo t die Jahreszahl bedeutet.

Es ist nämlich das tropische Jahr[1] veränderlich, weil der Frühlingspunkt mit etwas veränderlicher Schnelligkeit auf der Ekliptik weitergeht. Die Änderung ist, wie der Ausdruck dafür zeigt, äußerst gering, summt sich aber allmählich auf; übrigens ist sie selbst wieder periodisch, was aber erst nach längerer Zeit hervortritt. Im Jahre 1900 ist der Faktor $(t - 1850)$ gerade gleich 50 geworden, das Jahr ist dann also um $0^s{,}268$ kürzer als im Jahre 1850, also $= 365^d\ 5^h\ 48^m\ 45^s{,}801$. Es verdient bemerkt zu werden, daß die Änderungen der Präcession und damit des tropischen Jahres noch nicht genau genug bekannt sind, um die Einführung einer gegen die gregorianische noch weiter verbesserten Schaltmethode für das bürgerliche Jahr zu rechtfertigen[2].

Wollte man das siderische Jahr anstatt des tropischen der bürgerlichen Zeitrechnung zu Grunde legen, so müßte man, dem Werte $365^d{,}256$ entsprechend, jedes vierte Jahr ohne Ausnahme zu einem Schaltjahre machen und außerdem in 1000 Jahren noch sechs weitere Schalttage eintreten lassen.

Man bemerke ferner, daß der Unterschied zwischen dem siderischen und dem tropischen Jahre, $0^d{,}01416$ für 1850, nicht nur an sich, sondern auch verhältnismäßig weit größer ist als der Unterschied von $0^d{,}00008$ zwischen dem siderischen und dem tropischen Monat. Der Grund ist klar. Das tropische Jahr ist durchschnittlich um $^1/_{26000}$ seiner Länge, d. h. um etwa $^1/_{70}$ Tag, kürzer als das siderische, da auf den Umlauf des Frühlingspunktes 26 000 Jahre kommen. Das sind aber mehr als 320 000 Mondumläufe, von denen durch die Präcession nur ein einziger verloren geht. Also wird der tropische Monat nur etwa um $^1/_{320000}$ seiner Länge kürzer sein als der siderische.

Wir haben früher auch die Länge des synodischen Monats oder der Lunation angegeben; es ist der Zeitraum von einer Sonnenkonjunktion des Mondes bis zur nächsten. Dieser Monat, nach welchem sich der Lichtwechsel unseres Trabanten richtet, hängt offenbar nicht von der Präcession ab. Das zeigt auch die Formel. Nennt man $T_{\odot}$ das siderische Jahr, $T_{☾}$ den siderischen Monat, $Tr_{\odot}$ und $Tr_{☾}$ die ent-

[1] Ebenso der tropische Mondumlauf, worauf hier aber nicht eingegangen werden soll.

[2] Die angegebenen Zahlen nach *Harkness*, The solar parallax and its related constants.

sprechenden tropischen Zeitlängen, $T_{\odot ☾}$ und $Tr_{\odot ☾}$ die Lunation, wie sie aus den beiden Wertpaaren hervorgeht, so hat man

$$\frac{1}{T_{\odot ☾}} = \frac{1}{T_{☾}} - \frac{1}{T_{\odot}} \text{ und } \frac{1}{Tr_{\odot ☾}} = \frac{1}{Tr_{☾}} - \frac{1}{Tr_{\odot}}.$$

Da nun

$$\frac{1}{Tr_{\odot}} = \frac{1}{T_{\odot}} + \frac{1}{T_{♈}} \text{ und } \frac{1}{Tr_{☾}} = \frac{1}{T_{☾}} + \frac{1}{T_{♈}}$$

ist, wo $T_{♈}$ die Zeit des gegen Mond und Sonne gehenden Umlaufes des Frühlingspunktes bezeichnet und die Einheit beliebig, z. B. gleich dem mittlern Tage angenommen werden kann, so folgt $\frac{1}{Tr_{\odot ☾}} = \frac{1}{T_{\odot ☾}}$.

Die ungleichmäßige Verkürzung der tropischen Umlaufszeit gegen die siderische betrifft natürlich auch die Planetenumläufe. Die synodischen Umläufe, die sich aus der Beobachtung der Oppositionen ergeben, werden nicht durch die Präcession geändert; dagegen hat man aus ihnen entweder mit Hilfe des tropischen Erdenjahres die tropischen Umläufe abzuleiten, also die Zeiten, die diese Himmelskörper zum Durchlaufen aller heliocentrischen Längen aufwenden, oder die siderischen Umläufe, d. h. die Zeiten, die die Leitstrahlen brauchen, um in sich selbst zurückzukehren. Je größer die Umlaufszeit überhaupt ist, desto kürzer ist verhältnismäßig ihr tropischer Wert im Vergleich zu dem siderischen. Damit ist die Erklärung gegeben für den letzten Rest der Abweichung unserer frühern Rechnungen von den Gesetzen Keplers und Newtons. Die folgende kleine Tafel, deren Bezeichnungen im übrigen denen des vorigen Kapitels entsprechen, enthält die siderischen Planetenjahre anstatt der tropischen.

	log a	3 log a	T	log T	2 log T	log(1 + m)	$\log \frac{T^2 (1 + m)}{a^3}$	
☿	9,587822	8,763467	87,96926	1,944331	3,888662	0,000000	5,125195	☿
♀	9,859338	9,578015	224,70079	2,351605	4,703210	0,000001	5,125196	♀
♁	0,000000	0,000001	365,25636	2,562598	5,125196	0,000001	5,125196	♁
♂	0,182897	0,548692	686,97979	2,836944	5,673888	0,000000	5,125196	♂
♃	0,716237	2,148712	4332,59	3,636748	7,273496	0,000413	5,125197	♃
♄	0,979496	2,938489	10759,23	4,031781	8,063562	0,000124	5,125197	♄
⛢	1,282925	3,848776	30688,51	4,486976	8,973952	0,000019	5,125195	⛢
♆	1,477942	4,433827	60186,64	4,779500	9,559000	0,000023	5,125196	♆

Man bemerkt, daß sich die übrigbleibenden Abweichungen nunmehr auf Einheiten der letzten mitgenommenen Decimale beschränken; sie erklären sich durch die Abrundung der zu Grunde gelegten Logarithmen. Das dritte Keplersche Gesetz in der durch Newton verbesserten Fassung ist also jetzt, wo wir gelernt haben, die wahren Umlaufszeiten zu benutzen, als streng bewiesen anzusehen. In der That sind die Halbachsenwerte a, deren Logarithmen hier stehen, gar nicht mehr aus der direkten Beobachtung, etwa des Umfanges der Oppositionsschleife, mit dieser Genauigkeit hergeleitet, sondern mit Hilfe des dritten Keplerschen Gesetzes, in dessen mathematischen Ausdruck man das Massenglied (S. 226—227), wo es sich ermitteln läßt, mit aufnimmt, aus den siderischen Umlaufszeiten, wie sie sich aus der Beobachtung ergeben. — Wir haben $\log a_5 = 0{,}000000$ gesetzt, aber 3 log a nicht mehr einfach gleich null, wie es die frühere Erklärung verlangt. Da wir früher nur fünfstellig rechneten, war das gleichgültig. Als eigentliche Einheit des Sonnensystems dient dem Astronomen streng

genommen nicht die große Halbachse der Erdbahn, sondern die große Bahnhalbachse eines erdachten Planeten mit der Masse null, der in einem siderischen Jahr um die Sonne kreist. Da unsere Erde eine bestimmbare, obgleich sehr geringe Gegenwirkung auf die Sonne ausübt, ist ihre wahre Bahnhalbachse größer als jene Einheit, wie man leicht aus der Gleichung

$$\frac{T_5{}^2(1+m_5)}{a^3{}_5} = \frac{T_5{}^2(1+0)}{1^3} \text{ oder } a_5 = \sqrt[3]{1+m_5}$$

ersieht, wo die Einheit der Definition entspricht, a_5 die wahre Bahnhalbachse der ♁ und T_5 das siderische Jahr bezeichnet. Es ist $1 + m_5 = 1 + \frac{1}{327214}$, also a etwa $= 1 + \frac{1}{980000} = 1{,}000001 = 10^{0{,}0000004}$, so daß bei sechsstelliger Rechnung zwar $\log a_5 = 0$, aber $3 \log a_5 = 0{,}000001$ zu setzen ist. Die übrigen log a haben wir siebenstellig berechnet, mit 3 multipliziert und dann abgekürzt.

* * *

Es handelt sich nun um die Ermittelung der Ursache für das höchst merkwürdige Phänomen, das wir als Präcession bezeichnet haben. Es ist früher (S. 154) mitgeteilt worden, daß ein Körper, der um eine seiner natürlichen Achsen rotiert, vor allem ein Sphäroid, das sich um seine kleinste Achse dreht, nach mechanischen Gesetzen die Achsenlage und die Rotationsgeschwindigkeit ohne Änderung beibehalten muß. Diese Trägheit der Rotation kann nur durch äußere Ursachen überwunden werden. Bei den andern Himmelskörpern, deren Rotationen uns nach Schnelligkeit und Achsenlage (vgl. S. 204—205) genauer bekannt sind, finden wir keine Präcession; so bei der Sonne und dem Monde, bei Mars und Jupiter. Es muß also einen äußern Grund geben, der nur die Erde oder nur sie in größerem Umfange beeinflußt. Man hat diesen Grund in der Anziehung äußerer Körper auf die abgeplattete Erde gefunden.

Newtons Gesetz behauptet, daß im Weltraume jedes einzelne Massenteilchen jedes andere Massenteilchen mit einer Kraft anzieht, welche dem Produkte der Massen direkt, dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist. Die Astronomie betrachtet nun aber nicht einzelne Massenpunkte, sondern sehr umfang- und massenreiche Himmelskörper. Es fragt sich, woher es kommt, daß dennoch große und kleine Systeme (z. B. das Sonnensystem, das Jupitersystem und die noch viel kleinere Gruppe Erde-Mond) Bewegungen ausführen, die jenem Gesetze entsprechen.

Die einzelnen Massenteile der Erdkugel sind durch ihre wechselseitige Anziehung und ihre Starre so aneinander gekettet, daß sich der eine nicht ohne den andern durch den Raum bewegen kann. Aber diese Teile werden von der Sonne in verschiedenem Maße angezogen. Welche Bahn wird das ganze Sphäroid beschreiben?

Nimmt man an, daß das Newtonsche Anziehungsgesetz, wie es für die gesamten Planetenmassen aus ihrer Bewegung abgeleitet ist, auch für kleine Massenteile gelte, so kann man zwei äußerst wichtige Sätze ableiten, die zahlreiche Folgerungen nach sich ziehen[1].

1. In Fig. 79 bedeute der Kreis den Durchschnitt durch eine mit anziehender Masse gleichmäßig belegte Kugelschale, etwa durch eine sehr dünne Hohlkugel aus

[1] Wir folgen der Beweisführung in Dressels Physik, S. 57—59, und zwar hie und da wörtlich.

Metallblech. Ist O ein in der Zeichenebene liegender Punkt im Innern der Schale, so ziehen wir durch O drei eng benachbarte Linien. Sie bestimmen auf der Kugelfläche zwei Figuren, die wir bei genügender Annäherung als ebene Dreiecke auffassen dürfen. Mit Hilfe des Satzes, daß die Rechtecke aus den Abschnitten zweier Sehnen desselben Kreises einander gleich sind, beweist man leicht, daß die beiden Dreiecke einander ähnlich sind, und daß ihre Inhalte, also auch ihre Massen, in demselben Verhältnisse stehen wie die Quadrate ihrer Abstände von O. Sie üben also in entgegengesetztem Sinne gleiche Anziehungen auf den Punkt aus; denn die anziehende Kraft der untern Masse wird genau in demselben Verhältnisse, in dem diese größer als die obere ist, nach Newtons Gesetze durch den größern Abstand wieder vermindert. Die anziehenden Kräfte, welche die Dreiecke auf den Punkt ausüben, heben daher einander auf. Da man nun die ganze Kugelschale in lauter solche Dreieckspaare zerlegen kann, so zeigt sich, daß eine gleichmäßig mit anziehender Masse belegte Kugelschale auf einen innern Punkt gar keine Anziehung ausübt[1].

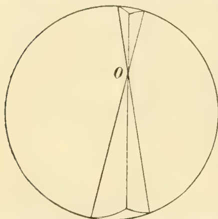


Fig. 79. Anziehung einer Kugelschale auf einen innern Punkt.

2. In Fig. 80 bedeute A den äußern Punkt mit der Masse m, der Kreis CC_1NN_1 einen durch A und das Centrum O gehenden Durchschnitt der Schale. Man ziehe AO sowie die Tangenten AC und AC_1. Jedem Massenteilchen entspricht ein anderes ebenso großes, das mit ihm zu AO symmetrisch liegt. Die anziehenden Kräfte dieser Teilchen zerfallen in je zwei Teilkräfte, wovon die eine Gruppe senkrecht zu OA wirkt; sie kommt nicht zur Geltung, da sich die gegenüberstehenden Teilkräfte aufheben; die andere wirkt parallel OA, und ihre Resultante geht durch O. Es wirkt also auch die gesamte

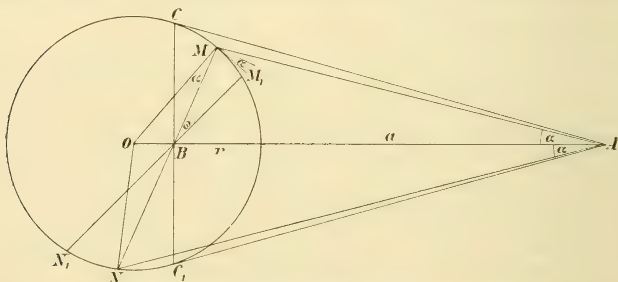


Fig. 80. Anziehung einer Kugelschale auf einen äußern Punkt.

Anziehung aller Teile längs OA, und wir brauchen nur die dieser Linie parallelen Teilkräfte zu ermitteln. Der Radius der Kugelschale werde r genannt.

[1] Die mechanische Theorie der Elektricität beweist einen noch weiter gehenden Satz, daß nämlich ein elektrisch geladener Hohlkörper überhaupt keine Anziehung auf einen innern Punkt ausübt; die Erfahrung bestätigt das. Es ist dabei zu beachten, daß die Elektricität über die Oberfläche frei wandern kann, und daß sich die Teilchen gemäß ihrer Abstoßung aufeinander gerade so ordnen, wie es dieser Satz verlangt, nämlich mit stärkerer Anhäufung an konvexern Stellen, z. B. an Spitzen.

Verbindet man die Berührungspunkte C und C_1, so ist OC die mittlere Proportionale zwischen OB und OA, wie sich bei Betrachtung des rechtwinkligen $\triangle$ OCA sofort ergiebt. Die Gleichung $r^2 = OB \cdot OA$ zeigt dann, daß auch die Dreiecke OMB und OAM einander ähnlich sind; ebenso ist $\triangle ONB \sim OAN$. Wir teilen nun die ganze Kugelfläche durch Doppelpyramiden, alle mit der Spitze in B, in kleine Flächenelemente; es sei MBM_1 eine solche Pyramide und NBN_1 das Scheitelgebilde. Aus einer um B mit der Längeneinheit als Radius beschrieben gedachten Kugelfläche schneidet jede der beiden Pyramiden ein Stück mit dem Flächeninhalte ω aus; diese für die beiden Pyramiden übereinstimmende Größe ω ist in der Figur als Körperwinkel eingetragen. Das Flächenelement MM_1 ist nun gleich $BM^2 \cdot \omega \cdot \sec \alpha$, ebenso ist Elem. $NN_1 = BN^2 \cdot \omega \cdot \sec \alpha$; denn die senkrechten Querschnitte in den Abständen BM und BN wären $BM^2 \cdot \omega$ und $BN^2 \cdot \omega$; die schiefen Querschnitte sind jeder im Verhältnisse $\sec \alpha$ (oder $1 : \cos \alpha$) größer als die senkrechten, da die Tangenten an die um B und O mit den Radien BM und OM beschriebenen Kugeln miteinander denselben Winkel machen wie die Radien selbst, also α, und da dieser Winkel bei N wiederkehrt. Ist die Flächeneinheit mit der Masse σ belegt, so üben die beiden Elemente MM_1 und NN_1 folgende Anziehungen nach Newtons Gesetze auf A aus:

$$S_M = \frac{BM^2 \cdot \omega \cdot \sigma \cdot m}{MA^2 \cdot \cos \alpha}; \; S_N = \frac{BN^2 \cdot \omega \cdot \sigma \cdot m}{NA^2 \cdot \cos \alpha}.$$

Da nun aus den Dreiecksähnlichkeiten $BM^2 : MA^2 = BN^2 : NA^2 = r^2 : a^2$ folgt, wo $a = OA$ ist, so hat man $S_M = S_N = \frac{\omega \cdot \sigma \cdot m \cdot r^2 \cdot \sec \alpha}{a^2}$. Von jeder dieser Anziehungen haben wir nur die parallel OA wirkende Komponente in Rechnung zu stellen, also nur $\omega \cdot \sigma \cdot m \cdot \frac{r^2}{a^2} \cdot \sec \alpha \cdot \cos \alpha = \omega \cdot \sigma \cdot m \cdot \frac{r^2}{a^2}$. Die gesamte Beschleunigung ist also gleich $\sigma \cdot m \cdot \Sigma\omega \cdot \frac{r^2}{a^2}$, wo das Zeichen $\Sigma\omega$ bedeutet, daß wir die Summe aller vorkommenden ω zu bilden haben. Da nun ω in der vorhin angedeuteten Weise als Stück einer Kugelfläche um B mit dem Radius eins, also mit der Gesamtfläche 4π auftritt und wir behufs vollständiger Zerlegung der Kugel um O alle Teile der kleinen Kugel um B in Rechnung zu stellen haben, so ist $\Sigma\omega = 4\pi$, die gesamte Anziehung daher gleich $\frac{4\pi \cdot r^2 \cdot \sigma \cdot m}{a^2}$.

Es übt also die ganze Kugelschale auf die im Punkte A stehende Masse m dieselbe Beschleunigung aus wie ein einziger Massenpunkt $4\pi \cdot r^2 \cdot \sigma$, der im Centrum O, also in der Entfernung a vom Punkte A stände. Nun beträgt die gesamte äußere Oberfläche der Kugelschale $4\pi r^2$ und ihre gesamte Masse $4\pi \cdot r^2 \cdot \sigma$, da die Flächeneinheit mit der Masse σ belegt ist. Wäre diese Masse in O vereinigt, so würde sie gleichfalls auf den Punkt A die Anziehung $4\pi r^2 \cdot \sigma \cdot m : a^2$ ausüben. Auf einen äußern Punkt wirkt also eine homogene anziehende Kugelschale genau ebenso, als wäre ihre Masse im Centrum vereinigt.

Der Punkt A übt nun auf jedes Teilchen der Kugelschale eine Gegenwirkung aus, welche der von ihm selbst erlittenen Anziehung entgegengesetzt gleich ist; das Entsprechende gilt natürlich von der Summe aller Gegenwirkungen; man darf also auch sagen: Ein äußerer Punkt zieht eine homogene Kugelschale so an, als sei ihre ganze Masse im Centrum vereinigt; ein innerer Punkt zieht eine homogene Kugelschale gar nicht an.

Man denke sich nun eine Vollkugel, worin die Dichte der einzelnen Teile nur durch ihre Entfernung vom Centrum bestimmt wird. Eine solche Kugel setzt sich aus

lauter einzelnen Schalen zusammen, und auf jeder einzelnen ist die Dichte konstant, während sie im übrigen von Schale zu Schale wechseln darf. Wendet man unsere Sätze auf alle Schalen an, so erhält man den Satz: Befindet sich ein Massenpunkt außerhalb einer Vollkugel, in der die Dichte der einzelnen Teile nur durch ihren Abstand vom Centrum bestimmt wird, dann wird er so angezogen, als sei die ganze Kugelmasse im Centrum vereinigt, und ebenso zieht auch er die Kugel an. Befindet er sich aber im Innern einer solchen Vollkugel, dann wirken die Teile, deren Abstand vom Centrum größer als der seinige ist, gar nicht auf ihn ein; die andern wirken so auf ihn ein, als sei ihre Masse im Centrum vereinigt.

Nun sind die Planeten kugelähnliche Körper; man begreift also, daß sie sich nach Newtons Gesetze bewegen; denn indem man den (gesperrten) letzten Satz abermals erweitert, stellt man fest, daß zwei auseinanderliegende Kugeln, in denen das vorhin angenommene Gesetz der Dichten obwaltet, einander so anziehen, als sei die Masse einer jeden in ihrem Centrum vereinigt. Allerdings hat man sich noch mit der geringen Abweichung der Planeten von der Kugelgestalt abzufinden.

Beim Mars ist diese Abweichung sehr unbedeutend, sie kann hier in Anbetracht des großen Abstandes der Sonne vernachlässigt werden; es kommt hinzu, daß der Planet selbst sehr klein ist. Es sind dann nämlich die Leitstrahlen nach den einzelnen Punkten des Himmelskörpers nahezu als gleich anzusehen, woraus hervorgeht, daß die Punkte gleiche Bahnen beschreiben müssen. Jupiter ist allerdings so groß, daß diese Annahme weit weniger genau ist als beim Mars, trotz des größern Abstandes von der Sonne; auch ist er sehr stark abgeplattet. Aber die Drehungsachse des Planeten steht nahezu senkrecht auf seiner Bahnebene, erfährt darum weniger Störung, als man erwarten sollte.

Die Erde wird am besten gleichzeitig mit ihrem Trabanten, dem Monde, betrachtet. Für diesen steht die Sache vielleicht noch günstiger als für den Mars. Die genauesten Messungen, hauptsächlich bei Mondfinsternissen, wo die Fehler der geringern Lichtstärke wegen sehr klein sind, haben eine Abplattung dieses Himmelskörpers noch nicht feststellen können. Er wird darum von der Erde, und erst recht von der weit entfernten Sonne, sehr genau so angezogen, als wäre seine Masse im Centrum vereinigt. Die Achsendrehung kann unabhängig von den Anziehungen vor sich gehen.

Was den Erdkörper anbetrifft, so können wir ihn in zwei Teile zerlegt denken. Der eine Teil ist eine Kugel, deren Durchmesser die Erdachse ist. Der andere ist der Unterschied zwischen jenem und dem wirklichen Erdsphäroide: eine Schale, die am Äquator ihre größte Dicke von 6377 km — 6356 km = 21 km hat und von da nach den Polen zu allmählich zur Dicke null abnimmt. Wir wollen diese Schale als den Äquatorialwulst bezeichnen; in unserer Fig. 81 sehen wir den Durchschnitt des Wulstes mit der Zeichenebene als die dünne, aus zwei Sicheln bestehende Differenz zwischen der Meridianellipse und dem mit der Erdachse als Durchmesser beschriebenen Kreise auftreten. Die Innenkugel wird von der Sonne und dem Monde so angezogen, als sei ihre Masse im Centrum angehäuft; nicht so der Wulst.

Um uns die Wirkungen der Sonne auf den Wulst vorzustellen, fassen wir einen bestimmten Zeitpunkt ins Auge, z. B. die Wintersonnenwende der Nordhalbkugel. Wir haben uns dann die Sonne in sehr weitem Abstande in der Richtung der mit S bezeichneten Pfeilspitze zu denken. Die Zeichenebene geht durch die Sonne und die Erdachse; sie schneidet aus der Himmelskugel den Kolur der Sonnenwenden. Eine Ebene, die man senkrecht zur Zeichenebene durch die Erdachse legt, zerschneidet den Wulst in eine vordere und eine hintere Hälfte.

Weil die Schale sehr dünn ist und die Sonne weit von der Erde absteht, wird man für jede Schalenhälfte mit ziemlicher Genauigkeit die Sonnenanziehung im Schwerpunkte angreifend denken können. Nun liegt der Schwerpunkt der vordern Hälfte offenbar links über dem Centrum der Erde in der Richtung auf A; der Schwerpunkt der hintern Hälfte liegt symmetrisch zu jenem in der Richtung auf Q, rechts unter dem Mittelpunkte der Erde.

Die Sonne sucht durch ihre Anziehung den Schwerpunkt der vordern Hälfte zu senken, d. h. ihn der Ebene der Ekliptik zu nähern oder die Erdachse aufzurichten; der Punkt Q ist von S weiter entfernt als das Kugelcentrum; er erfährt darum eine schwächere Anziehung, oder, wie man auch sagen kann, eine stärkere Centrifugalkraft, die in der Richtung der verlängerten SQ wirkt. Diese Kraft sucht den Schwerpunkt Q der hintern Hälfte gleichfalls zu senken, d. h. ihn von der Ekliptikalebene nach Süden zu ziehen und damit die Erdachse umzukippen. Es überwiegt die Anziehung auf die näher gelegene vordere Hälfte; wir brauchen daher diese allein zu betrachten. Sie äußert sich in dem Bestreben der einzelnen Teile des Wulstes, die Erdachse zu senken.

Man glaube nicht, daß die Sommersonnenwende die umgekehrten Erscheinungen zeitige. Hat man nämlich die Sonne in unserer Zeichnung rechts, dann strebt die nähere Wulsthälfte aufwärts, freilich auch die entferntere, diese aber schwächer; es bleibt also nur die Bewegung im erstern Sinne, d. h. wieder das Bestreben, die Erdachse senkrecht zur Bahnebene zu stellen.

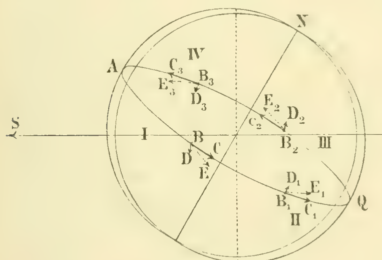


Fig. 81. Zur Theorie der Präcession I.

Daß dieses der Sonne nicht gelingt, dafür sorgt die Rotation. Sie erfolgt in der Richtung $B B_1 B_2 B_3$. Betrachten wir einen Äquatorpunkt, der durch die Rotation allein in der Zeiteinheit von B nach C geführt werden würde. Die Sonnenstörung allein würde ihn in derselben Zeit von B nach D bringen [1]. Er kommt, dem Satze vom Kräfteparallelogramm zufolge, nach E. Im zweiten Quadranten des Äquatorkreises wird dagegen aus den Bewegungen $B_1 C_1$ und $B_1 D_1$ eine schief nach Norden gerichtete Bewegung $B_1 E_1$ zusammengesetzt; ebenso entstehen $B_2 E_2$ und $B_3 E_3$ aus $B_2 C_2$, $B_2 D_2$ und $B_3 C_3$, $B_3 D_3$. Alle diese Teilbewegungen ergeben sich aus der Thatsache, daß die Wirkung der Sonne und des Mondes auf den Wulst bestrebt ist, die Achse senkrecht zur Ekliptik zu stellen; denn, um es noch einmal zu sagen, die abgewandte Hälfte erfährt zwar die entgegengesetzte Wirkung, aber sie wird von dem stärkern Zuge, den die zugewandte Hälfte erfährt, überwogen, und so muß die hintere Hälfte und auch die ganze Kugel die Bewegung mitmachen, die die vordere Hälfte ausführt.

Um nun die Wirkung der Kräfte auf die Achse beurteilen zu können, beachten wir, daß *die Drehungsachse die gerade Linie ist, welche auf den Bewegungsrichtungen aller Massenpunkte senkrecht steht* — das Senkrechtstehen hier in allgemeinster Bedeutung genommen, so daß es auch von zwei Linien

[1] Man beachte, daß die Punkte BCDE noch alle nördlich von der Bahnebene liegen, wie sich leicht aus ihrer Lage zur Erdachse ergiebt.

gilt, die einander nicht schneiden, sondern vorbeigehen, deren unendlich ferne Punkte aber an der Sphäre einen Bogen von 90° einschließen. Ist z. B. die Ebene der Fig. 82 die des Äquators, so ist der Erdmittelpunkt O die Spur der Erdachse; diese Achse steht senkrecht auf allen in der Ebene liegenden Geraden, z. B. auf BC, B_1C_1, B_2C_2, B_3C_3, die hier dieselbe Bedeutung wie in der vorigen Figur haben. Die Anziehungskraft der Sonne hat nun folgende Wirkungen auf diese Linien: 1. BC senkt sich, 2. B_1C_1 hebt sich, 3. B_2C_2 hebt sich, 4. B_3C_3 senkt sich. Das Heben und Senken bezieht sich hier auf die Spitzen C, C_1, C_2, C_3. Es ist klar, daß nun die auf den gedrehten Linien senkrechte Erdachse nicht mehr zu der alten Äquatorebene senkrecht stehen kann; ihr Nordpol hat sich in Fig. 82 nach links gedreht und in Fig. 81 aus der Zeichenebene heraus und senkrecht zu dieser nach vorn[1]. Das bedeutet für einen Beobachter, der auf der Ebene der Ekliptik steht und den Kopf nach Norden wendet, eine Drehung der Erdachse mit dem Uhrzeiger.

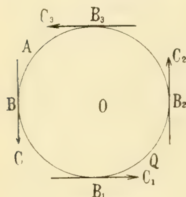


Fig. 82.
Zur Theorie der Präcession II.

Wie vorhin erwähnt, muß die Sommersonnenwende dasselbe Spiel der Kräfte ergeben, und auch in den zwischenliegenden Stellungen kommt eine Drehung der Erdachse um die Ekliptikalachse im Sinne des Uhrzeigers heraus, allerdings in etwas geringerer Stärke. Die Präcession ist also nach der Jahreszeit etwas veränderlich, aber sie vollzieht sich immer in demselben Sinne.

Die Physiker haben Vorrichtungen ersonnen, die die Präcession künstlich nachahmen und im wesentlichen darauf hinauslaufen, daß eine frei rotierende Kugel durch ein mitzuschleppendes Gewicht, welches die Achse der Horizontalebene zu nähern sucht, gezwungen wird, ihre Achsenstellung dem Sinne der Rotation entgegen konisch zu verdrehen. Auf die Beschreibung dieser sinnreichen Apparate können wir nicht eingehen, bemerken darum nur noch, daß der Kreisel, das bekannte Kinderspielzeug, die Erscheinungen auf die einfachste Art erläutert. Hat er (Fig. 83) eine Rotation im Uhrzeigersinne um eine nicht vertikale Achse erhalten, so dreht sich, wie die Beobachtung zeigt, die beschwerte Rotationsachse langsam um die Vertikale gegen den Zeiger, bis die Reibung den Kreisel stürzen läßt. Ein Geldstück, das man auf dem Tische mit zwei Fingern in schnelle Rotation versetzt, läßt ganz ähnliche Erscheinungen sehen.

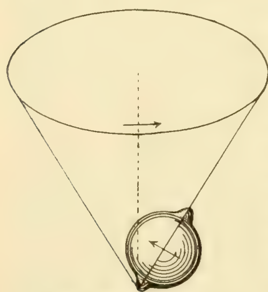


Fig. 83. Kreiselbewegung.

Bei der Erde ist freilich der Vorgang sehr verwickelt. Es sind nämlich zwei äußere Körper da, die in solchem Maße anziehend auf den Äquatorialwulst wirken, daß eine merkbare Drehung der Achse herauskommt: die Sonne und der Mond; jene vermöge ihrer großen Masse, dieser wegen der kleinen Entfernung, die die Unterschiede

[1] Wer sich den Sachverhalt nach den Abbildungen nicht gut vorstellen kann, konstruiere das Gebilde Fig. 82 räumlich; die geneigten Bewegungsrichtungen lassen sich leicht durch Stäbchen andeuten, z. B. durch Streichhölzer, deren Köpfe in die Laufrichtung gestellt werden.

zwischen den Anziehungen auf die vordere und die hintere Hälfte des Wulstes besonders groß ausfallen läßt trotz des an sich geringen Betrages der Mondmasse. Die beiden Himmelskörper rufen offenbar eine Achsendrehung in demselben Sinne hervor, da man für den Mond, der in 27 Tagen wirklich um die Erde läuft, genau dieselben Erwägungen anstellen darf wie für die in 365 Tagen scheinbar um uns kreisende Sonne. Doch ist zu bedenken, daß die Mondbahn etwas gegen die Sonnenbahn geneigt ist (S. 104—107). Allerdings beträgt die Neigung nur 5° 8′ 40″. Aber die Senkrechte zur Mondbahnebene, die wir in jedem Augenblicke durch das Centrum der Erde ziehen können, fällt nun nicht zusammen mit der durch denselben Punkt gezogenen Senkrechten zur Erdbahnebene, macht vielmehr mit ihr den angegebenen Winkel. Um die eine Senkrechte sucht der Mond, um die zweite sucht die Sonne die Erdachse zu drehen. Zum Überflusse behält nun die Mondbahn ihre Lage auch nicht bei, dreht sich vielmehr (S. 108) in der Weise, daß bei konstantem Neigungswinkel die Knoten in 6798^d,3 einmal mit dem Uhrzeiger umlaufen. Dadurch entsteht nun in dem regelmäßigen Gange der Präcession eine kleine Störung, deren Periode 6798^d,3 oder knapp 19 Jahre beträgt; nach diesem Zeitraume wiederholen sich die Erscheinungen. In jedem Augenblicke bestimmt sich die Achse des Kegelmantels, den (S. 235) die Erdachse beschreibt, nach dem Kräfte-Parallelogramm aus der Achse der Ekliptik und der Achse der Mondbahn, und da die zweite in 19 Jahren einen sehr kleinen Kegelmantel um die erste zieht, erfährt die Erdachse außer ihrer großen Kegelbewegung ein Schwanken, oder wie der lateinische Ausdruck lautet, eine Nutation. Daher wird auch der Nordpol des Äquators an der Sphäre nicht einen Kreis zu beschreiben scheinen, sondern die geschlängelte Linie, wie sie unsere Fig. 84 oben bei P zeigt. Die Nutation ist gewissermaßen epicyklisch auf die Präcessionsbewegung aufgesetzt. Zum Verständnis der Figur ist im übrigen wenig mehr zu sagen. Es ist fshw die wahre Erdbahn; FKHE haben wir uns unendlich größer vorzustellen, es ist die Ekliptik oder der Durchschnitt der Erdbahnebene mit der Sphäre der Fixsterne. HAFQ ist der Himmelsäquator, F und H sind Frühlings- und Herbstpunkt. Mit der Drehung von P im Uhrzeigersinne ist ein Umlauf von F und H auf der Ekliptikalebene in demselben Sinne verbunden, und die Nutation der Erdachse oder auch, was ja nach Früherem dasselbe bedeutet, der zu ihr durch die Sonne gelegten Parallelen, zieht ein etwas unregelmäßiges Fortschreiten von F und H nach sich.

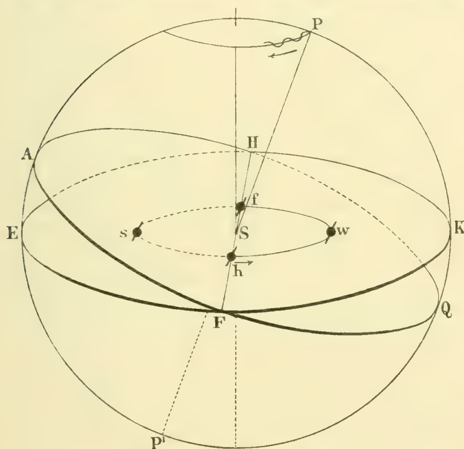


Fig. 84. Präcession und Nutation.

Merkwürdigerweise hat die rückläufige Mondknotendrehung eine ganz ähnliche Ursache wie die von ihr beeinflußte Präcessionsbewegung. Man braucht, um das einzusehen, nur die Erde durch das System Erde-Mond zu ersetzen und auf dessen Hauptebene, nämlich die Ebene, worin sich der Radiusvektor ♄ ☾ dreht, die Anziehung der Sonne wirken zu lassen. Die Sonne liegt, wie wir wissen, in einer gegen jene um 5° geneigten Ebene, und daraus ergiebt sich für die Mondbahnebene eine ganz ähnliche Drehung wie für die des Erdäquators, nämlich ein Lauf der Knoten gegen den Uhrzeiger bei konstanter Neigung gegen die Ekliptikalebene.

Warum die Achsen des Mondes selbst und der uns näher bekannten Planeten keine meßbare Präcession erfahren, ist vorhin schon angedeutet worden; es wird jetzt noch besser verständlich sein. Schon bei der Erde, deren Abplattung ja nur etwa 1 : 300 beträgt, ist der Äquatorialwulst sehr viel kleiner als der kugelförmige Kern, dessen Durchmesser die Erdachse ist. Die Anziehungen von Sonne und Mond auf die vordere Schalenhälfte müssen nicht nur die fast ebensogroßen aber entgegengesetzt wirkenden Anziehungen auf die hintere Schalenhälfte überwinden, sondern auch noch die viel massenhaftere Kernkugel drehen. Günstig ist dabei allerdings die starke Neigung des Äquators gegen die Ekliptik. Diese ist zwar beim Mars (vgl. Kap. 26) noch größer; auch seine Abplattung ist wohl stärker, vielleicht gleich 1 : 220; aber das Verhältnis des Radius des Planeten zum Sonnenabstande ist weit kleiner als bei der Erde, so daß die Anziehungen auf die beiden Wulsthälften nahezu gleich groß ausfallen; ferner fehlt in dem Ausdrucke für die Präcession das sehr große Glied, welches bei uns der ziemlich massenhafte und nahe gelegene Mond hineinbringt. Die Marsmonde sind allerdings ihrem Centralkörper weit näher als uns der unsrige, aber auch viel massenärmer. — Beim Jupiter, wo das Verhältnis des Äquatorradius zum Sonnenabstande größer als bei der Erde ist, läßt die sehr geringe Neigung des Äquators gegen die Bahnebene keine bedeutende Präcession aufkommen, und auch die Ebenen der überdies relativ massenarmen Monde fallen gleichfalls nahezu mit der Äquatorebene zusammen. Diese wird deshalb kaum gedreht werden können, obschon die große Abplattung die Präcession begünstigt. Bei unserm Monde endlich müßte durch die Anziehungen der Sonne und der so nahen Erde, die in Ebenen von sehr verschiedener Neigung gegen seine Äquatorebene erfolgen, eine Präcession von auffallender Größe und Verwicklung herauskommen, wenn nicht seine streng regelmäßige Kugelgestalt sie unmöglich machte. Auch die Sonne wird durch diese Gestalt, freilich auch durch die gewaltige Masse, gegen eine räumliche Drehung ihrer Achse geschützt.

* * *

Um die Präcessions- und Nutationsbewegung vollständig begreifen zu können, haben wir uns bis jetzt eine Vereinfachung gestattet, die nun wegfallen muß. Wir haben nämlich angenommen, daß die Ebene der Erdbahn fest sei. Auch diese Annahme muß fallen, wenn man die Verhältnisse im Sonnensystem überschauen will. Schon vorhin ist bemerkt worden, daß die periodische Änderung der Lage der Mondbahnebene, wie sie sich in dem 19jährigen Umlaufe der Knoten zeigt, auf einer Störung durch die Sonne beruht. In derselben Lage wie die Mondbahn der Sonne gegenüber ist nun die Erdbahnebene den großen Planeten gegenüber, die sich in andern Ebenen bewegen, deren Neigung gegen jene zwar gering, aber nicht gleich null ist. Darum erfährt auch die Ebene der Ekliptik Störungen; auch sie darf nicht als fest im Raume angesehen werden. Laplace hat die Größe dieser Störung zugleich mit den Zahlenwerten für die Präcession abgeleitet und zuerst ein deutliches Bild von der verwickelten Maschinerie gegeben, das die Neuern eigentlich nur numerisch zu ver-

vollkommnen brauchten. Die Bewegungen der Ekliptikalebene mußte er auf eine feste Ebene beziehen; indem er dafür die Ekliptik, wie sie im Jahre 1750 lag, auswählte und in ihr als feste Linie das Äquinoktium des Widderzeichens annahm[1], indem er ferner auf diese Ebene die Lagen aller Planetenbahnen nach Neigung und Knoten bezog, gelang es ihm, durch mühevolle Rechnungen festzustellen, welche Lage für eine gegebene Zeit die Ekliptik nach Knoten und Neigung gegen jene feste Ebene einnimmt; er stellte für die säkulare[2] Änderung der Erdbahnlage Formeln auf, deren Konstanten nur infolge der spätern genauern Kenntnis der Planetenmassen geändert zu werden brauchten. Neuerdings hat man alles auf 1850 statt 1750 bezogen, da die Wahl einer Epoche, welche unsern Tagen näher liegt, viele Vorteile bietet.

Wie verhält sich nun der Äquator gegenüber der säkularen Änderung der Erdbahnlage? Vermöge der Trägheit der Materie sucht die Äquatorebene ihre Lage im Raume beizubehalten; durch die oben betrachtete Präcession, welche wir nun Lunisolarpräcession nennen wollen, da sie von dem Monde und der Sonne ausgeht, ändert sich die Lage der Äquatorebene nur insofern, als die Knotenlinie, also die der Nachtgleichen, auf der Ekliptikalebene gedreht wird, während die Neigung konstant bleibt. Bewegt sich nun die Ekliptikalebene selber, so ändert sich beständig ihr Winkel mit der Äquatorebene, also die Schiefe der Ekliptik. In jedem Augenblicke hat man mit einer andern Schiefe zu rechnen, und in jedem Augenblicke bestrebt sich die Anziehung der Sonne und des Mondes, zwar diese Schiefe konstant zu erhalten, aber die Knotenlinie des Äquators und der augenblicklichen Ekliptik, also die augenblickliche Nachtgleichenlinie, auf der augenblicklichen Ekliptikalebene zu drehen.

Es ist also die Schiefe veränderlich. Ihre Änderungen lassen sich berechnen, und da man auch sehr alte Beobachtungen darüber hat, läßt sich die Rechnung durch die Erfahrung bestätigen. Vergleicht man die Ergebnisse einiger wichtigern Bestimmungen, nämlich[3]

$\varepsilon = 23^\circ\ 52'\ 0''$	abgeleitet	von	dem chinesischen Kaiser Tschu-Kong	1100	v. Chr.
23 49 20	„	„	Pytheas in Massilia (Marseille)	350	„
23 34 26	„	„	dem Araber Ibn-Junis in Ägypten	1000	n. Chr.
23 32 2	„	„	dem chines. Astronomen Koschu-King	1280	„
23 31 48	„	„	Ulugh-Beigh in Samarkand	1437	„
23 28 18	„	„	dem englischen Astronomen Bradley	1750	„
23 27 32	„	„	dem französ. Astronomen Leverrier	1850	„

so möchte man an eine konstante Abnahme glauben, die zuletzt dahin führen würde, daß die Ekliptik mit dem Äquator zusammenfiele und der Begriff des Frühlingspunktes unbestimmt würde, und daß auf der ganzen Erde beständige Nachtgleiche stattfände. Der Unterschied der Jahreszeiten würde wegfallen, es bliebe nur der der Tageszeiten und der Klimate. Doch zeigt eine genauere Betrachtung, daß die Abnahme der Schiefe nicht gleichförmig verläuft, und die Theorie ergiebt, daß sich die Schiefe überhaupt nur periodisch ändert, allerdings in einer so langen Periode,

---

[1] Nach Ausschaltung der Nutation.

[2] Säkular (von saeculum) heißt jede Änderung, die nicht in eine kurze Periode eingeschlossen ist. So ist die Präcession eine säkulare, die Nutation nur eine periodische Änderung.

[3] Fast vollständig nach der achten Auflage von Littrows „Wundern des Himmels", der auch die unten folgenden Notizen über die Rechnungen von Lagrange entnommen sind.

daß die Zu- oder Abnahme in kürzern Fristen einfach der Zeit proportional angenommen werden darf. Nach Harkneß[1] darf man für die gegenwärtige Zeit

$$\varepsilon = 23^{\circ}\, 27'\, 31'',47 - 0'',46657\,(t - 1850) - 0,0000073\,(t - 1850)^2$$

setzen, wenn t die Jahreszahl bedeutet. Dieser Ausdruck ist ebensowenig streng richtig als der oben für die Präcession gegebene, aber er beruht auf einer Reihenentwicklung, deren höhere Glieder so klein sind, daß sie für ein Jahrhundert vernachlässigt werden können. — Nach Lagrange hatte die Schiefe im Jahre 29 400 v. Chr. ihren größten Wert von 27° 31′. Sie nahm dann ab und erreichte 14 400 v. Chr. ihr Minimum von 21° 20′; dann Zunahme bis zu einem Maximum von 23° 53′ im Jahre 2000 v. Chr. Die seitdem eingetretene Abnahme führt 6600 n. Chr. das Minimum von 22° 54′ herbei, dem 19 300 n. Chr. ein Maximum von 25° 21′ folgen wird. Die Wende- und Polarkreise der Erdkugel schwanken natürlich mit und damit auch die Klimate in einem Grade, den man wohl häufig unterschätzt hat.

Zum Überfluß erfährt die Schiefe auch noch eine Änderung von kurzer Periode. Es sucht nämlich auch der Mond die Erdbahn zu drehen, so gut wie die Sonne die Mondbahn dreht; die Drehung bewirkt innerhalb der 19jährigen Periode, worin die Knotenlinie der Bahnen alle Lagen durchläuft, eine Nutation der Schiefe, die dieser beständig einen etwas andern Wert giebt, als aus den allgemeinen, auf den andern Störungen beruhenden Formeln hervorgeht.

Die Änderung der Schiefe bewirkt nun weiterhin eine Änderung im Ausdrucke für die Präcession. Nicht nur, daß die Nachtgleichenlinie nicht auf einer festen, sondern auf einer beweglichen Ebene gedreht wird, die Änderung der Schiefe ändert auch die Lage des Äquatorialwulstes zu Mond und Sonne und damit den Betrag der Präcessionswirkung, die ja für eine größere Schiefe größer ausfallen muß. Man pflegt die Wanderung der Nachtgleichen auf der beweglichen Ekliptik als allgemeine Präcession zu bezeichnen im Gegensatze zu der bloßen Lunisolarpräcession; was hinzugetreten ist, nennt man auch wohl die Präcession durch die Planeten. Nach Harkneß[2] darf man für die nächsten Jahrzehnte die Ausdrücke

$\psi = 50'',35710\,(t - 1850) - 0'',00010670\,(t - 1850)^2$ für die Lunisolarpräcession,

$\psi_1 = 50'',23615\,(t - 1850) + 0'',00011023\,(t - 1850)^2$ für die allgemeine Präcession

als gültig ansehen. Setzt man also z. B. in den Ausdruck für ψ_1 die Jahreszahl $t = 1900$ ein, so erhält man $2511'',8075 + 0,2756 = 2512'',0831 = 0^{\circ}\, 41'\, 52'',08$ als vollständige Verschiebung des Frühlingspunktes auf der beweglichen Ekliptikalebene seit 1850.

Will man ältere Sternkarten oder Sternverzeichnisse mit der heutigen Beobachtung vergleichen, so muß man, wie schon vorhin erwähnt, die Präcession in Rechnung ziehen. Für Sterne, die den Äquatorialpolen nahe sind, geht das nur mit Hilfe sphärischer Formeln, auf die hier nicht wohl eingegangen werden kann. Für die andern, d. h. für die große Mehrzahl, kann man sich der schon vorhin (S. 234) angedeuteten Differentialformeln bedienen, deren Konstanten wir nun etwas genauer angeben wollen[3]. Sie sind mit der Zeit veränderlich, wie die Präcession und die Schiefe selbst.

---

[1] The solar parallax and its related constants.

[2] A. a. O. Hier wie bei der Schiefe sehen wir von der Angabe der Unsicherheit des ersten Gliedes ab.

[3] Nach Láska, Sammlung von Formeln der reinen und angewandten Mathematik.

t	m^s	log n^s	log n''
1850	$3^s,07063$	0,126053	1,302144
60	7081	6034	125
70	7100	6015	107
80	7119	5996	088
90	7138	5978	069
1900	7157	5959	050

Die Änderung in RA beträgt dann für das Jahr $m + n \tan \delta \sin \alpha$, die in Decl $n \cos \alpha$. Die Anwendung der Formeln zeigt sich am besten an einem Beispiele.

Für 1855,0, d. h. für den Anfang des Jahres 1855, war der von Nutation befreite mittlere Ort des Sternes β Lyrae:

$$\alpha = 18^h\, 44^m\, 44^s;\ \delta = +33^\circ\, 11',8;\ \alpha \text{ in Bogenmaß} = 281^\circ\, 11',0 = 270^\circ + 11^\circ\, 11',0.$$

Welches ist sein mittlerer Ort für 1905,0? — Die Präcession in dem Zeitraume war veränderlich; man wird aber der Wahrheit sehr nahe kommen, wenn man denjenigen Präcessionswert braucht, der in der Mitte der Zwischenzeit, also im Jahre $\frac{1}{2}(1905 + 1855) = 1880$ gegolten hat. Man kann dieses Verfahren mit der Rechnung beim freien Falle der Körper vergleichen. Hat zu Anfang einer Periode von 50 Sekunden die Geschwindigkeit v stattgefunden, zu Ende der Periode also $v + 50\,g$, so war in der Mitte der Zeit die Geschwindigkeit $v + 25\,g$; wäre der Körper beständig mit dieser Geschwindigkeit gefallen, so hätte er $50\,(v + 25\,g)$ Meter oder $(50\,v + 1250\,g)$ Meter zurückgelegt; genau denselben Weg hat er in Wahrheit mit der veränderlichen Geschwindigkeit abgemacht. Allerdings hat die Präcession noch höhere Glieder als das quadratische; diese sind aber eben in kürzern Zeiträumen zu vernachlässigen. Wir nehmen also die für 1880 angegebenen Werte als gültig an; sie bedeuten nun die jährlichen Beträge der als konstant angesehenen Faktoren oder ihrer Logarithmen. Da die Änderung der RA wie diese selbst in Zeitmaß angegeben wird, die der Decl in Bogenmaß, so tritt dieser Unterschied auch in der Tafel auf. Es ist

$$m^s = 3^s,07119, \text{ also } 50\, m^s = 153^s,5595.$$

Für n, welches in Zeitsekunden für die angegebene Epoche gleich 1,3366, in Bogensekunden gleich 20,049 ist, wird uns hier nur der log gegeben, weil n in beiden Fassungen mit Winkelfunktionen zu multiplizieren ist. Die weitere Rechnung gestaltet sich so:

$\log n^s = 0,125996$	$\log n'' = 1,302088$
$\log \tan \delta = 9,81577.6$	$\log \cos \alpha = 9,28769$
$\log \sin \alpha = 9,99167\ n$	
$9,93344.2\ n = \log(-0,85790)$	$0,589778 = \log 3,8884$
$m^s = +3,07119$	$= \log(60 \cdot 0,06481).$
Jährliche Änderung von $\alpha = +2^s,21329$	Jährl. Änderung von $\delta = +0',06481.$
50jährige Änderung von $\alpha = 110^s,66$	50jähr. Änderung von $\delta = +3',24$
Ort für 1855,0 : $\alpha = 18^h\, 44^m\, 44^s$;	$\delta = 33^\circ\, 11',8$
Ort für 1905,0 : $\alpha = 18^h\, 46^m\, 34^s,7$;	$\delta = 33^\circ\, 15',04.$

Da in diesem Beispiele die RA und Decl ziemlich roh gegeben waren, brauchte man die Präcession auch nur mit mäßiger Genauigkeit auszurechnen; vierstellige Logarithmen hätten hingereicht. Auf die Vorzeichen ist hier wohl zu achten: α liegt im vierten Quadranten, es ist also der sin, wonach sich das in n multiplizierte Glied

bei nördlichen Sternen richtet, negativ [1], während der cos α, der die Änderung von δ bestimmt, positiv ist.

Trifft die mittlere Epoche nicht mit einer der Zahlen 1850, 1860 u. s. w. zusammen, so muß man die Werte für m und log n aus den Tafelwerten interpolieren. Ist der Jahresunterschied zwischen unserer Zeit und der, worauf sich die Örter des alten Verzeichnisses beziehen, nicht durch eine so runde Zahl ausgedrückt wie in unserem Beispiele, ist er etwa gleich 47, so wird der weniger gewandte Rechner m^s numerisch, die Größen n cos α aber und n tan δ sin α logarithmisch mit 47 multiplizieren. — Die Sternverzeichnisse geben der Regel nach neben den Koordinaten α und δ auch ihre jährliche Änderung durch die Präcession; diese Änderung gilt dann genau nur für die Epoche, wofür der Katalog selbst gilt, kann aber mit guter Näherung für eine Reihe von Jahren vor- oder rückwärts benutzt werden. Zuweilen giebt man auch die variatio saecularis an, d. h. die Änderung, die die angegebenen Präcessionsbeträge im Jahrhundert erfahren. Dann können die Örter für viel entlegenere Zeiten noch genau angegeben werden [2].

Die hier [3] gegebenen Tafeln für die jährliche Präcession in RA und Decl gelten für die gegenwärtige Zeit und lassen die geringe variatio saecularis außer acht. Zeigen wir auch ihren Gebrauch an einem Beispiele. Der Stern φ Ursae maioris hatte 1860,0 die RA $9^h\ 42^m\ 33^s,3$ und die Decl $+ 54^0\ 42'\ 58''$. Es ist der Ort für 1898,0 zu ermitteln. Die Tafel der Präcession in RA hat zwei Argumente [4] α und δ; es gehört aber immer derselbe Präcessionsbetrag zu zwei verschiedenen RA, da der Wert von m + n tan δ sin α für zwei α mit gleichem sin bei konstantem δ derselbe ist; die Doppelreihen in der obern Hälfte der Tafel beruhen darauf, daß sin α = sin $(12^h - \alpha)$, die in der untern darauf, daß sin α = sin $(36^h - \alpha)$ ist, wie man leicht ableitet. Nun erhält man für $\alpha = 9^h\ 20^m$ und $\alpha = 10^h\ 0^m$ zunächst in $+ 50^0$ Decl die Beträge $4^s,1$ und $3^s,9$, kann also für $9^h\ 42^m\ 33^s,3$ den Mittelwert $4^s,0$ als gültig annehmen. Andererseits erhält man für $\alpha = 9^h\ 20^m$ und $10^h\ 0^m$ in 60^0 Decl die Beträge $4^s,6$ und $4^s,2$, darf also für die gegebene RA den Mittelwert $4^s,4$ ansetzen. Da nun die gegebene RA für 50^0 Decl den Wert $4^s,0$ und für 60^0 den Wert $4^s,4$ ergiebt, so kommt für $54^0\ 42'\ 58''$ der Mittelwert $4^s,2$ heraus. Das macht, auf 38 Jahre erstreckt, $159^s,6 = 2^m\ 39^s,6$, und dieser Betrag, zu der gegebenen RA addiert, ergiebt $\alpha = 9^h\ 45^m\ 13^s$, da man in Anbetracht der Ungenauigkeiten der Rechnung die Zehntelsekunde nicht mehr verbürgen kann [5].

---

[1] Daher das n am Logarithmus, das mit dem Faktor n nichts zu thun hat.

[2] Man wolle noch beachten, daß in unserem Beispiele die log cos α, log sin α, log tan δ auf die alten Werte von α und δ bezogen sind, während man sie der Strenge nach mindestens aus den für die mittlere Epoche gültigen α und δ ableiten müßte, die man dann eben vorher näherungsweise zu bestimmen hätte. Aber der Unterschied dieses strengern Verfahrens gegen das einfachere ist im Gesamtergebnis, wo man sich fast immer mit der Zehntelzeitsekunde oder der vollen Bogensekunde begnügen kann, meistens zu vernachlässigen.

[3] Nach Láska a. a. O.

[4] Erklärung dieses Ausdruckes siehe S. 201 Fußnote.

[5] Die direkte Rechnung ergiebt bei diesem Sterne $4^s,139$ als Präcession in RA, für 38 Jahre also $157^s,3$, unsere Rechnung irrt also bei diesem dem Pole schon ziemlich nahen Stern um mehr als 2^s. Zu berücksichtigen ist freilich, daß in hohen Deklinationen eine geringe RA-Differenz in Wahrheit nicht viel ausmacht — wie in hohen geographischen Breiten ein geringer Unterschied der geographischen Längen.

Jährliche Präcession in Rektascension.

Rektascension.		Deklination.										
α	α	— 20°	— 10°	0°	+ 10°	+ 20°	+ 30°	+ 40°	+ 50°	+ 60°	+ 70°	+ 80°
0h 0m	12h 0m	3s,07	3s,07	3s,07	3s,07	3s,07	3s,07	3s,07	3s,1	3s,1	3s,1	3s,1
0 40	11 20	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,20	3,26	3,3	3,5	3,7	4,4
1 20	10 40	2,90	2,99	3,07	3,15	3,24	3,33	3,45	3,6	3,9	4,3	5,7
2 0	10 0	2,83	2,95	3,07	3,19	3,31	3,46	3,63	3,9	4,2	4,9	6,9
2 40	9 20	2,76	2,92	3,07	3,22	3,38	3,57	3,79	4,1	4,6	5,4	7,9
3 20	8 40	2,70	2,89	3,07	3,25	3,44	3,66	3,93	4,3	4,8	5,9	8,9
4 0	8 0	2,65	2,87	3,07	3,27	3,49	3,74	4,04	4,4	5,1	6,2	9,6
4 40	7 20	2,61	2,85	3,07	3,29	3,53	3,80	4,12	4,6	5,2	6,5	10,2
5 20	6 40	2,59	2,84	3,07	3,30	3,55	3,83	4,17	4,6	5,3	6,7	10,5
6 0	6 0	2,58	2,83	3,07	3,31	3,56	3,84	4,19	4,7	5,4	6,7	10,6
12h 0m	0h 0m	3s,07	3s,07	3s,07	3s,07	3s,07	3s,07	3s,07	3s,1	3s,1	3s,1	3s,1
12 40	23 20	3,15	3,11	3,07	3,03	2,99	2,94	2,88	2,8	2,7	2,4	1,7
13 20	22 40	3,24	3,15	3,07	2,99	2,90	2,81	2,69	2,5	2,3	1,8	+ 0,5
14 0	22 0	3,31	3,19	3,07	2,95	2,83	2,68	2,51	2,3	1,9	1,2	— 0,7
14 40	21 20	3,38	3,22	3,07	2,92	2,76	2,57	2,35	2,0	1,6	0,7	— 1,8
15 20	20 40	3,44	3,25	3,07	2,89	2,70	2,48	2,21	1,8	1,3	+ 0,3	— 2,7
16 0	20 0	3,49	3,27	3,07	2,87	2,65	2,40	2,10	1,7	1,1	— 0,1	— 3,5
16 40	19 20	3,53	3,29	3,07	2,85	2,61	2,34	2,02	1,6	0,9	— 0,4	— 4,0
17 20	18 40	3,55	3,30	3,07	2,84	2,59	2,31	1,97	1,5	0,8	— 0,5	— 4,4
18 0	18 0	3,56	3,31	3,07	2,83	2,58	2,30	1,95	1,5	0,7	— 0,6	— 4,5

Man hat mit den beiden Argumenten α und δ einzugehen. Der Präcessionsbetrag ist positiv, wo er nicht ausdrücklich als negativ bezeichnet ist.

Jährliche Präcession in Deklination.

α Präcession ist +		Präcession in δ.	α Präcession ist —	
0h 0m	24h 0m	20″,1	12h 0m	12h 0m
0 20	23 40	20,0	11 40	12 20
0 40	23 20	19,7	11 20	12 40
1 0	23 0	19,4	11 0	13 0
1 20	22 40	18,8	10 40	13 20
1 40	22 20	18,2	10 20	13 40
2 0	22 0	17,4	10 0	14 0
2 20	21 40	16,4	9 40	14 20
2 40	21 20	15,4	9 20	14 40
3 0	21 0	14,2	9 0	15 0
3 20	20 40	12,9	8 40	15 20
3 40	20 20	11,5	8 20	15 40
4 0	20 0	10,0	8 0	16 0
4 20	19 40	8,5	7 40	16 20
4 40	19 20	6,9	7 20	16 40
5 0	19 0	5,2	7 0	17 0
5 20	18 40	3,5	6 40	17 20
5 40	18 20	1,7	6 20	17 40
6 0	18 0	0,0	6 0	18 0

Die Änderung der Decl hängt nur ab von $\cos\alpha$, und da $\cos\alpha = \cos(24^h - \alpha) = -\cos(12^h - \alpha) = -\cos(12^h + \alpha)$ ist, erklärt sich leicht der Aufbau der Tafel für die Präcession in Decl: zu einem jeden absoluten Präcessionswerte gehören vier verschiedene RA, wovon die im ersten und vierten Quadranten liegenden den positiven, die im zweiten und dritten liegenden den negativen Wert ergeben. Für unsern Fall übersieht man leicht, daß $-16'',5$ eine gute Näherung ist; die Änderung in 38 Jahren beträgt also $-38 \times 16'',5 = -627'' = -10'\,27''$, und wir erhalten $\delta_{1898} = +54^0\,42'\,58'' - 10'\,27'' = +54^0\,32'\,31''$, wobei die Sekunde als zweifelhaft gelten muß wegen der Ungenauigkeit der Rechnung [1].

Hätte man den Ort des Sternes für die um 38 Jahre vor 1860 liegende Epoche 1822,0 auszurechnen, so würde man sagen: $\alpha_{1822} = 9^h\,42^m\,33^s,3 - 2^m\,39^s,6 = 9^h\,39^m\,54^s$; $\delta_{1822} = +54^0\,42'\,58'' + 10'\,27'' = +54^0\,53'\,25''$, ungefähr dem Ort auf unserer alten Karte des Großen Bären entsprechend.

* * *

Der Ort eines Fixsternes, wonach sich seine Kulminationszeit und Kulminationshöhe richten, ist also in Wahrheit nicht so konstant, wie wir in den ersten Kapiteln dieses Buches der Einfachheit wegen angenommen haben; vielmehr hängt er von einer Menge von Größen ab, die mit dem Sterne selbst gar nichts, desto mehr aber mit der Lage der Ebenen zu thun haben, worauf wir den Ort zu beziehen genötigt sind. Ist schon der Präcessionsausdruck für das Gefühl des Nicht-Mathematikers recht verwickelt, so tritt für den Astronomen noch die Nutation hinzu, deren Ausdrücke so kompliciert sind, daß wir sie hier, wo es sich nur um die Mitteilung der wichtigsten Erkenntnisse und nicht um Einführung in die Beobachtungskunst handelt, gänzlich beiseite lassen müssen. Es tritt die jährliche Aberration hinzu, deren Argumente, wie wir wissen, wiederum die Längen und Breiten des Sternes sind und nicht die direkt mit den Beobachtungen vergleichbaren RA und Decl; ja für die strengsten Rechnungen muß man die tägliche Aberration [2] hinzuziehen, deren Konstante zwar sehr klein, aber, wo es sich um Zehntel-Bogensekunden handelt, doch nicht gleich null zu setzen ist. Wenn man ferner bedenkt, daß die Kulminationshöhe eines Sternes nach Abzug der Äquatorhöhe die Decl liefert, daß aber nicht nur die Kulminationshöhe von der Refraktion verfälscht wird, die selbst wieder von Wind und Wetter abhängt, sondern auch die Äquatorhöhe und ihr Komplement, die Polhöhe, nach neuesten Forschungen [3] nicht ganz konstant zu sein scheint; wenn man die Schwierigkeit erwägt,

---

[1] Die direkte Ableitung ergiebt $16'',56$ für die jährliche, also $629'',3$ für die 38jährige Änderung, bis auf $2'',3$ mit unserer Rechnung übereinstimmend.

[2] Sie rührt von der Achsendrehung der Erde her, die sich in ähnlicher Weise mit der Lichtgeschwindigkeit zusammensetzt wie die jährliche Bewegung.

[3] Seit dem Beginne dieses Jahrzehnts haben Untersuchungen, die zuerst an der königl. Sternwarte zu Berlin in größerem Umfange angestellt und dann anderwärts zur Kontrolle wiederholt wurden, als zweifellos ergeben, daß die Pole auf der Erde selbst wandern. Die Schwankung ist sehr gering, sie scheint die Sekunde des Hauptkreises der Erdkugel, linear etwa 30 m, kaum zu erreichen. Ihre Ursache liegt wohl darin, daß die natürliche Drehungsachse durch die Massentransporte, wie sie die Jahreszeiten mit sich bringen (z. B. Schneefall und Schneeschmelze), ein wenig verändert wird, worauf dann die Störungen der äußern Körper, in erster Linie der Sonne und des Mondes, weitere Verschiebungen bewirken. Natürlich ist mit

auch abgesehen von all diesen Verbesserungen die Zeit und Höhe mit mechanischen und optischen Werkzeugen auf die hier in Betracht kommenden kleinsten Bruchteile zu messen — so begreift man, daß die praktische, berufsgemäße Astronomie ein ungemein lästiges, beschwerdevolles Amt ist, das an die Ausdauer und Hingebung seines Trägers die höchsten Ansprüche stellt; man sieht ein, daß jede Zahl, die uns in einfachster Form von der Astronomie dargeboten wird, das Ergebnis einer Menge von Rechenoperationen ist, und daß, wo es sich um die Messung sehr kleiner Größen handelt, der mögliche Einfluß einer Menge von Fehlern untersucht werden muß, ehe man sich anschickt, ein bestimmtes Resultat anzugeben. So pflegt man z. B. die Örter der kleinen Planeten und der Kometen in der Weise abzuleiten, daß man ihre Unterschiede gegen die Örter benachbarter und nach ihrer Stellung gut bekannter Fixsterne durch sogen. Mikrometer ermittelt. Auch hier muß man an jedem Orte die mannigfachsten Verbesserungen anbringen, wenn man ihn auf bestimmte Ebenen, z. B. auf Äquator und Ekliptik des Jahresanfanges, beziehen will. Kennt man die Bahn schon etwas genauer, so ist auch noch die tägliche Parallaxe zu berücksichtigen.

Alle diese Verbesserungen könnte man nicht anbringen, man müßte auf Berücksichtigung der störenden Einflüsse überhaupt verzichten, käme uns nicht ein wichtiger äußerer Umstand zu nutze. Da es uns nicht darum zu thun ist, von dem Getriebe des Weltalls dieselbe Anschauung zu haben, die der Schöpfer von ihm haben mag, da wir vielmehr nur erstreben können, der Wahrheit so nahe zu kommen, wie dem menschlichen Verstande möglich ist, so können wir in den Rechnungen die Glieder, welche unter einen bestimmten Grad der Kleinheit hinabsinken, überhaupt vernachlässigen; denn sie werden sich in den Beobachtungen doch nicht verraten. Man habe eine Zahl A aus Beobachtungen bestimmt, und die Theorie möge gezeigt haben, daß diese Zahl noch aus irgend einem Grunde mit $1 + x_1$ zu multiplizieren, d. h. also um $x_1 A$ zu vermehren ist, wo x_1 eine sehr kleine positive oder negative Größe bedeutet. Eine andere Ursache ergebe die Notwendigkeit, auch noch einen Faktor $1 + x_2$ anzubringen u. s. w. bis $1 + x_n$. Dann kann man, wofern nur alle die Größen x sehr kleine Brüche sind, die im übrigen positiv oder negativ sein können, bei nicht zu großem n immer

$$A (1 + x_1) (1 + x_2) (1 + x_3) + \ldots (1 + x_n) = A [1 + (x_1 + x_2 + x_3 + \ldots x_n)]$$

setzen, d. h. man darf die Quadrate und Produkte der kleinen Größen x und erst recht die noch höhern Glieder einfach streichen. Das läuft darauf hinaus, daß *jede der einzelnen Korrektionen so anzubringen ist, als ob die andern gar nicht beständen*. Und ebenso darf man in jeder Reihenentwicklung, wo die Glieder abnehmen, nach bestimmten, von der Mathematik aufgestellten Regeln die höhern Glieder vernachlässigen. Hat man z. B. einen Winkel x in absolutem Maße angegeben, wo $1^0 = \frac{\pi}{180}$, $1' = \frac{\pi}{10800}$, $1'' = \frac{\pi}{648000}$ ist, so zeigt, wie schon früher (S. 29—30) angegeben, die höhere Mathematik, daß

$$\sin x = x - \frac{x^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \frac{x^5}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} - \frac{x^7}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7} + \ldots,$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{1 \cdot 2} + \frac{x^4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} - \frac{x^6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} \ldots$$

---

diesen Schwankungen für jeden Ort eine kleine periodische Änderung der geographischen Breite (Polhöhe) verbunden. Für Orte auf entgegengesetzten Meridianen verläuft sie in umgekehrtem Sinne, wie das die Beobachtungen in Berlin und Honolulu zuerst zweifellos erwiesen haben.

ist. Die wahren Werte für $\sin x$ würde man erst bei unendlicher Gliederzahl, d. h. niemals erreichen; ist aber x recht klein, so kann man, wie wir öfters gethan haben, $\sin x = x$ setzen, da schon das zweite Glied verschwindend klein wird. Das ist die bekannte Vertauschung des sin mit dem arc. In ähnlicher Weise darf man den cos eines kleinen Winkels $= 1$ setzen. Je größer der Winkel wird, desto mehr Glieder müssen mitgenommen werden; zuletzt werden aber unausbleiblich die Glieder kleiner als jede angebbare Größe.

Die Möglichkeit, Funktionen als Reihen darzustellen, wovon wir hier nur den Anfang gezeigt haben, setzt den Astronomen in den Stand, mathematische Beziehungen, die eigentlich viel zu verwickelt sind, als daß sie auf Formeln gebracht werden könnten, dennoch durch verhältnismäßig einfache Ausdrücke so darzustellen, daß den Beobachtungen genügt wird. So sind die Präcessionsausdrücke, die nur die Zeit und deren Quadrat enthalten, eigentlich nur Annäherungen an die Wahrheit, allerdings aber sehr gute Annäherungen, weit genauer als die Größen, die man der unmittelbaren Beobachtung entnehmen kann.

* * *

Zwei Störungen, die die Erde durch die Planeten erfährt, mögen hier noch angegeben werden. Während die große Bahnhalbachse und mit ihr die siderische Umlaufszeit konstant ist, nimmt die kleine Achse zur Zeit beständig zu, d. h. die Excentricität nimmt ab, die Ellipse nähert sich in ihrer Gestalt allmählich einem Kreise. Von dem mathematischen Ausdrucke

$$\varepsilon_5 = 0{,}016771049 - 0{,}0000004245\,(t - 1850) - 0{,}0000000000001367\,(t - 1850)^2$$

für die Änderung der Excentricität der Erdbahn, den wir hier nach Harkneß geben, gilt natürlich dasselbe wie von so vielen ähnlichen Formeln: er stellt nur eine Annäherung an die Wahrheit dar, die für die ersten Jahrhunderte vor und nach 1850 brauchbar ist. Thatsächlich wird die Excentricität niemals null, also die Erdbahnellipse niemals zu einem Kreise werden, wie bei strenger Richtigkeit der Formel stattfinden müßte. Nach Croll, der Leverriers Rechnungen darüber geprüft und erweitert hat, schwankt die Excentricität zwischen dem Maximum 0,07775 und dem Minimum 0,003314. Die Periode der Schwankung beträgt etwa 24 000 Jahre.

Dann ist auch die Länge des Perihels der Erdbahn, also dessen Winkelabstand vom Frühlingspunkte, in einer beständigen Änderung begriffen. Nennen wir diese Länge Π und die Jahreszahl wieder t, so ist nach Leverrier

$$\Pi = 100^\circ\,21'\,21'',5 + 61'',9995\,(t - 1850) + 0'',000182\,(t - 1850)^2.$$

Die wahre Bewegung des Perihels ist freilich nicht so groß, wie es hiernach scheinen könnte. Das Perihel rückt im Sinne der wachsenden Längen vor, der Frühlingspunkt aber, von dem aus die Perihellänge gezählt wird, weicht im entgegengesetzten Sinne durch die Präcession[1] zurück. Die wahre siderische Bewegung des Perihels ist also aus der tropischen abzuleiten, indem man die Präcession abzieht. Man erhält dann mit Vernachlässigung des letzten Gliedes

$$\Pi = 100^\circ\,21' + 11'',7634\,(t - 1850).$$

Das Perihel rückt beständig vor; es wird tropisch in etwa 20 000 Jahren, siderisch in 100 000 Jahren umgelaufen sein, wie das jeweilige erste Glied leicht er-

[1] Der Ausdruck Präcession, Vorrückung, bezieht sich nicht auf den Frühlingspunkt, sondern auf die Sterne, deren Längen wachsen, weil der Frühlingspunkt zurückgeht.

giebt. Wir haben früher (S. 108—109) beim Monde, wo es sich um das Perigäum handelte, einen solchen Umlauf durch ein Bild verständlich zu machen versucht und verweisen hiermit darauf. Das anomalistische Jahr oder die Zeit, welche die Erde braucht, um zum Perihel zurückzukehren, muß wegen der Vorrückung des Perihels um den 20 000. Teil länger als das tropische, aber nur um den 100 000. Teil länger als das siderische Jahr sein. Seine Länge beträgt im Durchschnitte $365^d,25961 = 365^d\ 6^h\ 13^m\ 59^s$.

Überblickt man alle diese Änderungen und erwägt, daß sie von der rechnenden Astronomie als unausbleibliche Folgen des Gesetzes der allgemeinen Anziehung erkannt, von der beobachtenden fortwährend bestätigt werden, so wird man nicht umhin können, dieses Gesetz für eine der am sichersten erkannten Wahrheiten zu erklären. Fortwährend bestätigt die eine Wahrnehmung die andere. Dieselben Planetenmassen, wie sie sich aus den Bewegungen der Trabanten ergeben, verraten sich auch in den wechselseitigen Planetenstörungen, vorzüglich in denen, welche die Erdbahn erleidet. Die Mondgleichung der Erde bestätigt, was uns die Ebbe und Flut und ebenso die Präcession und Nutation über die Mondmasse lehren und was die Parallaxenbestimmungen über das Verhältnis des Mondabstandes zum Sonnenabstande ergeben (vgl. S. 223). Auch die Störungen der Mondbewegung durch die Erde ergeben dieselben Größen.

Die Alten haben zwar den Versuch nicht unterlassen, das ihnen durch Hipparch bekannt gewordene erste Glied der Präcession, also die gleichförmige Drehung der Weltachse um die Achse der Ekliptik bei konstantem Neigungswinkel, durch den Lauf einer besondern Sphäre zu erklären. Wären ihnen aber die verwickelten Bewegungen der Hauptebenen unseres Systems so genau bekannt gewesen wie uns, so hätten sie zu einem unabsehbaren Heere von Sphären und Epicykeln ihre Zuflucht nehmen müssen, wo für uns die Annahme eines einzigen Bewegungsgesetzes ausreicht.

Zwanzigstes Kapitel.

Größe, Gestalt, Achsendrehung, Masse, Dichtigkeit und Schwerkraft der Sonne, der Planeten und ihrer Monde.

Bisher haben wir uns mit den Himmelskörpern fast nur in Bezug auf die Bewegungen, die sie ausführen, beschäftigt; die natürliche Beschaffenheit der einzelnen Körper haben wir außer acht gelassen. Indessen wurde über deren Größen, Massen und Dichtigkeiten doch gelegentlich einiges gesagt. Wir wollen diese Verhältnisse nun im Zusammenhange behandeln, damit die Möglichkeit, über diese weit entlegenen Weltkörper Genaueres auszusagen, deutlich eingesehen werde.

Den scheinbaren Durchmesser eines Sternes zu messen, hat man zwei Mittel. Entweder bestimmt man ihn, indem man Winkelmeßwerkzeuge mit dem Fernrohr in Verbindung bringt (vgl. Kap. 38), oder man beobachtet einen Meridiandurchgang des Sternes und verzeichnet nach der Uhr die genauen Momente der Kulmination für die beiden Ränder der scheinbaren Scheibe, den westlichen oder vorausgehenden und den östlichen oder nachfolgenden Rand. Da $1^s = 15''$, so hat man, abgesehen von der inzwischen eingetretenen Verschiebung des Körpers an der Sphäre selbst, nur die Zeitsekundenzahl für den ganzen Meridiandurchgang mit 15 zu multiplizieren, um die Bogensekundenzahl für den Durchmesser zu erlangen.

Im allgemeinen wird man jedoch, da die Winkeldurchmesser der Planeten klein sind und bei der zweiten Methode durch kleine Fehler sehr verfälscht werden, die erste Methode vorziehen und die zweite nur zur Bestätigung benutzen.

Es war hier vorausgesetzt, daß der Himmelskörper kugelförmig sei. Für Sonne und Mond trifft das auch, soweit die Beobachtungen gelehrt haben, in aller Strenge zu. Die meisten größern Planeten sind jedoch abgeplattet, d. h. es kann ein solcher Planet aufgefaßt werden als ein Sphäroid, das durch Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Achse entstanden ist. Ein solches Sphäroid wird uns von verschiedenen Seiten in verschiedener Gestalt erscheinen. Nur wenn die kleine Achse — die man erfahrungsgemäß und nach den Regeln der Mechanik mit der Umdrehungsachse vertauschen darf — nur wenn diese Achse senkrecht auf der Gesichtslinie steht, hat die uns erscheinende Planetenscheibe die wahre Gestalt des Meridiandurchschnittes. Befänden wir uns aber z. B. auf der Verlängerung jener Achse, so erschiene uns auch ein stark abgeplatteter Planet doch als Kreisscheibe. In mittlern Stellungen werden wir eine Ellipse, aber nicht die richtige sehen; die Rotation und auch der Umlauf etwaiger Monde geben uns Aufschluß über die Lage der Rotationsachse, wenn wir Beobachtungen zu verschiedenen Zeiten gemacht haben. In jedem Falle ist der größte gemessene Scheibendurchmesser ein Durchmesser der Äquatorebene des Planeten, und die Bogengröße der Rotationsachse ergiebt sich dann aus der Rechnung [1].

Es ist aber nicht so sehr die Bogengröße des Äquator- und Polardurchmessers, die wir kennen wollen, als die wahre, in linearem Maße ausgedrückte Größe. Schon früher ist betont worden, daß wir, um diese aus jener abzuleiten, die Entfernung des Planeten kennen müssen. Auch diese wird uns nun durch die Astronomie geliefert. Denn es liefern uns

1. die Gesetze von Kepler und Newton für jeden Zeitpunkt ein getreues Bild der gegenseitigen Stellung der Sonne, der Erde und des Planeten, ein Bild, dessen Größe zunächst gleichgültig ist, dessen Seitenverhältnisse und Winkel aber der Wirklichkeit entsprechen. Alle Seiten dieses Dreieckes Sonne-Erde-Planet giebt uns die Theorie der Bewegung in einem und demselben Maße, nämlich der mittlern Entfernung der Erde von der Sonne. Nun wird

2. die Größe dieses Maßes durch die verschiedenen Bestimmungen der Sonnenparallaxe unmittelbar auf die Größe des Äquatordurchmessers der Erde und damit auf das metrische Maß bezogen. Somit können wir die beiden Hauptdurchmesser des Planeten thatsächlich in Myriometern angeben. Da indessen alle Messungen mit gewissen Fehlern behaftet sind und in die Zahlen für die Planetendurchmesser so viele verschiedene Messungen eingehen, so muß gefragt werden, welche Genauigkeit für das Endergebnis übrig bleibt. Wir haben hier

---

[1] Die bekannte gegenseitige Stellung von ☉, ♁ und Planet ergiebt, daß die Ebene, welche senkrecht auf der Gesichtslinie steht, mit dem Äquator des Planeten einen bestimmten Winkel φ macht. Diese Ebene schneidet den Planetenkörper in einer Ellipse. Die große Achse ist der Durchschnitt mit der Äquatorebene, also ein Äquatordurchmesser $2a$. Die kleine Achse fällt in eine Meridianebene des Planeten. Nennt man sie $2k$ und die Polarachse $2b$, so ist $k^2 = a^2 \cos^2\varphi + b^2 \sin^2\varphi$, wie sich durch Anwendung der Formeln S. 197 auf die Meridianellipse ergiebt. Da a und k gemessen sind und φ berechnet, so ergiebt sich b. Der Fall, wo $\varphi = 0^0$ ist, also b nicht bestimmt werden kann, liegt beim Uranus angenähert vor; bei den übrigen Planeten ist φ recht groß, $\cos^2\varphi$ also klein, so daß z. B. beim Jupiter schon ziemlich genau $k = b$ gesetzt werden darf.

a) die mikrometrische Bestimmung der Bogendurchmesser am Fernrohr. Ihr wahrscheinlicher Fehler ergiebt sich aus wiederholten Messungen und muß immer angegeben werden, wenn die Zahl Wert haben soll. Von vornherein ist es klar, daß ein großer Durchmesser verhältnismäßig viel genauer bestimmt werden kann als ein kleiner. So wird ein Durchmesser von 10″ durch einen Fehler von 1″ mehr entstellt als ein solcher von 20″. Wir betrachten ferner

b) das Verhältnis des Planetenabstandes zur Einheit des Sonnensystems. Dieses Verhältnis liefert uns die Theorie mit einer Genauigkeit, die unvergleichlich größer ist als die Messungen am Fernrohr. Darum kann man den kleinen Fehler dieses Verhältnisses einfach unberücksichtigt lassen. Dagegen macht sich

c) die Unsicherheit unserer Kenntnis des Verhältnisses Erddurchmesser zu Erdbahndurchmesser oder der sogen. Sonnenparallaxe, wieder gewaltig bemerkbar. Es mag sein, daß wir dieses Verhältnis nach den verschiedenen, einander bestätigenden Methoden jetzt auf seinen 200. Teil genau kennen. Wird es auf Grund späterer Rechnungen verkleinert, so vergrößern sich offenbar alle Planetenabstände auf gleiche Weise und damit auch die wahren Planetendurchmesser mit Ausnahme des Durchmessers der Erde. Eine Vergrößerung des wahrscheinlichsten Wertes für die Parallaxe würde dagegen eine in gleichem Verhältnisse stattfindende Verkleinerung aller Planetendurchmesser für uns bedeuten. Endlich dürfen wir

d) das Verhältnis des Erddurchmessers zum Myriometer wieder als sehr genau bekannt annehmen, jedenfalls viel genauer als die Sonnenparallaxe und die scheinbaren Planetendurchmesser. Es bleiben also die Unsicherheiten a und c, die nur durch immer mehr verfeinerte Beobachtungen weggeschafft werden können. Für den Mond fällt auch c) weg, und da wir den scheinbaren Durchmesser und die tägliche Parallaxe dieses unseres Begleiters sehr genau messen können, ist uns sein wahrer Durchmesser ungefähr so genau bekannt wie der der Erde.

* * *

Die Oberfläche einer Kugel ist bekanntlich gleich $4\pi r^2$, wenn r der in Längeneinheiten ausgedrückte Radius ist und als Flächeneinheit das über der Längeneinheit beschriebene Quadrat gewählt wird. Man kann also die Oberfläche eines kugelförmigen Himmelskörpers, z. B. der Sonne, in Quadratmyriometern angeben, da man den Durchmesser in myriom angeben kann. Die Unsicherheit des Wertes für den Halbmesser ist hierbei zu berücksichtigen. Nennen wir r den wahren Wert des Radius in myriom, ρ den von uns angenommenen, der durch die Fehler der Messung und der Parallaxe entstellt ist, so möge $r = \rho\,(1 + x)$ sein, wo x ein kleiner positiver oder negativer Bruch ist. Es ist dann (vgl. S. 255)

$$r^2 = \rho^2\,(1 + 2x); \quad 4\pi r^2 = 4\pi\rho^2\,(1 + 2x)$$

mit ziemlicher Genauigkeit anzunehmen, woraus man ersieht, daß die Unsicherheit in unserer Kenntnis der Planetenoberflächen doppelt so groß ist wie die Unsicherheit der Durchmesserwerte.

Für abgeplattete Himmelskörper bleibt der Schluß im ganzen bestehen, da man die aus den Messungen hervorgehenden Unsicherheiten des Äquatorhalbmessers und der Polarhalbachse in der Regel als nahezu gleich groß annehmen darf und für die aus der Ungenauigkeit der Sonnenparallaxe hervorgehenden Fehler dasselbe in aller Strenge gilt. Die Oberfläche F des Sphäroides, welches durch Umdrehung einer Ellipse mit den Halbachsen a und b um die kleine Achse entstanden ist, beträgt nach den Ableitungen der höhern Mathematik

$$F = 2\pi a\left(a + \frac{b^2}{c}\log\text{nat}\,\frac{a + c}{b}\right).$$

Hier ist c die lineare Excentricität, also $c = \sqrt{a^2 - b^2}$. Man sieht leicht, daß, wenn α und β die angenommenen Halbachsenwerte und a, b die wahren Werte sind, und ebenso γ und c den angenommenen und den wahren Wert der linearen Excentricität bedeuten, aus den Gleichungen $a = \alpha (1 + x)$, $b = \beta (1 + x)$ auch $c = \gamma (1 + x)$ folgt. Der zweite Faktor des zweiten Gliedes in dem Klammerausdruck bleibt ungeändert, und man bekommt wieder $1 + 2x$ für das Verhältnis zwischen dem wahren Oberflächenwerte und dem aus den Größen α, β, γ berechneten, also denselben Satz wie vorhin für die kugelförmigen Oberflächen.

Der Rauminhalt eines Sphäroides läßt sich ohne die Hilfsmittel der höhern Mathematik ableiten. Man denke sich Fig. 69 (S. 197) um die kleine Achse der elliptischen Punktreihe gedreht. Dann beschreibt jeder von den schmalen Streifen, z. B. der zunächst links von BC befindliche, einen Hohlkörper, den man Hohlcylinder nennen könnte, wären nicht die Ränder oben und unten schräg abgeschnitten. Diesen Fehler kann man aber durch die Wahl immer kleinerer Streifen beliebig klein machen. Nun ist (vgl. S. 197) $BA : BC = b : a$, und dasselbe Verhältnis findet überall zwischen den Ordinaten der Ellipse und des mit der großen Achse 2a als Durchmesser beschriebenen Kreises statt. Offenbar sind auch die unendlich kleinen Cylinder, wie sie sich durch Rotation der Teilstreifen der Ellipse ergeben, bei gleichem Umfange alle in dem Verhältnisse $b : a$ niedriger, also kleiner als die entsprechenden Cylinder, welche durch Rotation der Teilstreifen des Kreises entstanden sind. Die Summe dieser ist die Kugel mit dem Radius a und dem Rauminhalt $\frac{4\pi}{3} a^3$; die Summe jener ist das Sphäroid, das demzufolge in dem Verhältnisse $\frac{b}{a}$ kleiner ist als die Kugel. Da diese gleich $\frac{4\pi}{3} a^3$, so ist der Inhalt des Sphäroides $= \frac{4\pi}{3} \cdot a^3 \cdot \frac{b}{a}$ $= \frac{4\pi}{3} \cdot a^2 b$.

Die Unsicherheit der Durchmesser macht sich hier noch stärker als bei der Berechnung der Oberflächen geltend; man sieht, daß $\frac{4\pi}{3} \cdot a^2 b = \frac{4\pi}{3} \cdot \alpha^2 \beta \cdot (1 + x)^3$ $= \frac{4\pi}{3} \alpha^2 \beta \cdot (1 + 3x)$ ist, wenn die vorhin gewählten Bezeichnungen beibehalten werden. Die Unsicherheit der Werte für die Rauminhalte der Planeten ist also dreimal so groß wie die Unsicherheit der Werte für die Durchmesser.

* * *

Wie sich die Lage der Rotationsachse eines Planeten bestimmt, darüber ist schon früher (S. 117—118; 204—205) das Nötige gesagt worden. Wenn sowohl die Äquatorebene des Planeten gegen seine Bahnebene als auch die Bahnebene gegen die Ekliptik nur mäßig geneigt ist, wie z. B. beim Jupiter, dann liegt die Gesichtslinie immer nahezu in der Äquatorebene des Planeten, und die Folge davon ist, daß uns die Parallelkreise des Himmelskörpers als gerade Linien (eigentlich als Teile des größten Kreises) erscheinen. Bei größerer Neigung aber, z. B. beim Mars, kommen sehr verschiedene Stellungen der Rotationsachse zum irdischen Beobachter zu stande, und damit auch sehr verschiedene Projektionen der Parallelkreise. Unsere Figuren 74 und 75 (S. 206—207) zeigen das in auffälliger Weise. Fig. 85 zeigt den einfachern, bei Jupiter vorliegenden Fall; die sehr merkliche Abplattung des Planeten ist mitberücksichtigt.

Dreht man eine Kugel um ihre Achse, so drehen sich die Parallelkreise in sich selbst weiter; ein einzelner Fleck auf der Oberfläche eines Planeten beschreibt also bei der Rotation einen Parallelkreis. Die Beobachtung der Marsrotation in den 24 verschiedenen Stellungen, die Fig. 74 und 75 andeuten, wird also bald ergeben, daß nahezu gerade Linien von den einzelnen Flecken beschrieben werden, bald mehr oder weniger nach Süden oder Norden eingebogene Ellipsenhälften; denn die Projektion des Kreises ist die Ellipse.

Es fragt sich noch, wie der irdische Beobachter die Dauer der Rotation eines Himmelskörpers bestimmen kann. Am einfachsten liegt die Sache bei der Erdkugel selbst. Ihre Achsendrehungszeit haben wir schon früher dem Sterntage gleich gesetzt, also der Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden gleichartigen Kulminationen desselben Fixsternes. Will man den Begriff schärfer bestimmen, so muß man sagen: nach Abzug der Präcession und Nutation, also jener Vorgänge, wodurch die Äquatorebene der Erde gedreht wird. Auch die später zu besprechende Eigenbewegung der Fixsterne wäre der Strenge nach abzuziehen sowie die verschiedenen Aberrationen an zwei Tagen. Übrigens sind alle diese Verbesserungen für einen einzelnen Tag sehr klein; man kann also die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden obern Kulminationen desselben Sternes sehr genau gleich der Achsendrehungszeit der Erde setzen, nämlich $= 23^h\ 56^m\ 4^s{,}091$ nach mittlerer Sonnenzeit.

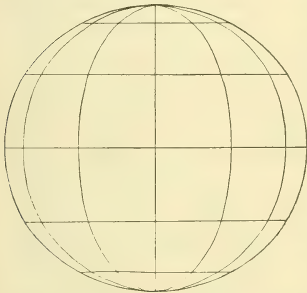


Fig. 85. Das Gradnetz des Jupiter in orthographischer Projektion.

Denken wir uns nun, ein Fleck auf der Oberfläche der Sonne werde durch die Rotation dieses Himmelskörpers in der Zeit T_f einmal herumgeführt, und zwar in der Richtung der Planetenumläufe, nämlich gegen den Uhrzeigersinn für einen Bewohner der nördlichen Erdhalbkugel. Er beschreibt dann, wenn die Einheit von T_f der mittlere Sonnentag ist, in einem Tag heliocentrisch, d. h. vom Centrum der Sonne aus gerechnet, den Bogen von $\frac{360^\circ}{T_f}$. Nun beschreibt aber die Erde in $T_♁$, nämlich in $365^d{,}256$ oder einem siderischen Jahre[1], in derselben Richtung einen Bogen von 360° um die Sonne; in einem Tage also $\frac{360^\circ}{T_♁}$. Von uns aus gesehen, hat daher der Sonnenfleck in 1^d nur einen Bogen von

$$\frac{360^\circ}{T_f} - \frac{360^\circ}{T_♁} = 360^\circ\left(\frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_♁}\right)$$

beschrieben, er hat sich also verhalten, als umliefe er in der Zeit T_{syn}, die durch die Gleichung

$$\frac{1}{T_{syn}} = \frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_♁}$$

bestimmt wird, die Achse der Sonne. Die so bestimmte Zeit T_{syn} ist die synodische Rotationszeit; sie wird von einem Flecken gebraucht, um für den irdischen

[1] Es ist klar, daß dieses (vgl. S. 239) und nicht das tropische Jahr von $365^d{,}2422$ zu nehmen ist.

Beobachter vom Centralmeridian, d. h. von der durch die Erde und die Sonnenachse gelegten Ebene, wieder bis zum Centralmeridian zu kommen. Infolge der veränderlichen Umlaufsgeschwindigkeit der Erde ist auch T_{syn} etwas veränderlich, was aber für die Beobachtung nicht viel ausmacht. Auch die Neigung der Sonnenachse gegen die Ekliptik bringt nur eine kleine Änderung hervor.

Wie man weiß, ist es geometrisch gleichgültig, ob man die Erde um die Sonne oder die Sonne um die Erde in der dem Uhrzeiger entgegengesetzten Richtung laufen läßt. Denken wir uns also die Sonne um die Erde laufend und die Erde in $23^h\ 56^m\ 4^s,091$ um ihre Achse rotierend. Ein bestimmter Punkt auf der Erdoberfläche, etwa Berlin, möge in einem Augenblicke für einen auf der Sonne befindlichen Beobachter im Centralmeridian stehen; das bedeutet nichts anderes, als daß Berlin wahren Mittag hat. Es wird dann nicht schon nach T_{st}, nämlich einem Sterntage, derselbe Ort wieder im Centralmeridian stehen, sondern erst nach einer Zeit $T_{\odot}$, die durch die Gleichung

$$\frac{1}{T_{\odot}} = \frac{1}{T_{st}} - \frac{1}{T_{♁}}$$

bestimmt wird, wo $T_{♁}$ wieder die Umlaufszeit der Erde um die Sonne oder umgekehrt bedeutet. Macht man $T_{\odot} = 1$, d. h. rechnet man in Sonnentagen, so wird

$$\frac{1}{T_{st}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{T_{♁}} = \frac{366,25636}{365,25636}, \text{ also in Sekunden}$$

$$T_{st} = \frac{86400^s \cdot 365,25636}{366,25636} = 86164^s,09 = 23^h\ 56^m\ 4^s,09.$$

Auch hier bringt die veränderliche Umlaufsgeschwindigkeit der Erde und die Neigung ihrer Achsen gegen die Ekliptikalebene eine Veränderlichkeit der scheinbaren, von der Sonne aus gesehenen Rotationsgeschwindigkeit der Erde zuwege. Wir haben diese Veränderlichkeit früher (S. 70) als Zeitgleichung eingehender besprochen und ihrer hier nur darum wieder gedacht, weil sie die wechselvollen Erscheinungen gut erläutert, die uns die Rotation der Planeten bietet.

Hat man die Rotation eines Planeten zu beobachten, der der Sonne näher ist als wir, also Merkur oder Venus, so ist zuvörderst klar, daß ihre Periode durch den jährlichen Erdenlauf in derselben Weise geändert wird wie die eines Sonnenflecks, nämlich etwa nach der Gleichung

$$\frac{1}{T_{syn}} = \frac{1}{T_{rot}} - \frac{1}{T_{♁}},$$

wo die Bezeichnungen sofort verständlich sind. Dabei bewirkt aber der schnelle Umlauf des Planeten um die Sonne eine fortwährende Änderung der synodischen Rotationsgeschwindigkeit, ein Schwanken um ihren aus der Gleichung geschlossenen mittlern Wert. Dieses Schwanken läßt sich jedoch nach den früher (S. 162—163) ausgesprochenen Sätzen über die epicyklischen Bewegungen der Größe nach feststellen; man kann daher von der beobachteten scheinbaren Rotationsdauer zunächst auf die mittlere und dann auf die wahre Dauer schließen, oder vielmehr man könnte es, wenn nicht gerade Merkur und Venus der Beobachtung große Schwierigkeiten entgegensetzten, die zum Teil darin beruhen, daß wir diese Himmelskörper selten in günstiger Beleuchtung sehen, und zum andern Teil physische Ursachen zu haben scheinen. Von dem Einflusse der Veränderlichkeit der Umlaufsgeschwindigkeiten und von der Achsenlage kann man absehen.

Die sogen. obern Planeten, die langsamer und in größern Abständen um die Sonne laufen als die Erde, bieten im ganzen ähnliche geometrische Vorgänge. Aus

dem epicyklischen Princip folgt zunächst, daß dieselben Gebilde wie in der Wirklichkeit herauskommen, wenn man die Sonne mitsamt der sie in einem Jahre umkreisenden Erdkugel in zwölf Jahren um den fünfmal entferntern Jupiter kreisen läßt, alles in demselben oft erwähnten Bewegungssinne. Ist nun T_{rot} die wahre Rotationszeit Jupiters und T_{syn} seine scheinbare Rotationszeit für einen solaren Beobachter, ferner $T_{♃}$ die Umlaufszeit, so hat man

$$\frac{1}{T_{syn}} = \frac{1}{T_{rot}} - \frac{1}{T_{♃}},$$

und um den hieraus abgeleiteten Mittelwert schwankt die geocentrische scheinbare Rotationszeit in einer Periode, die gleich dem synodischen Jupiterjahre (S. 167) ist, nach einem angebbaren Gesetze. Also kann man auch beim Jupiter und ebenso bei den übrigen obern Planeten, deren Rotation überhaupt bestimmbar ist, aus ihrer scheinbaren Dauer die wahre berechnen. Beim Jupiter ist T_{rot} so klein und $T_{♃}$ so groß, daß der Unterschied gering ist; auch die von der jährlichen Bewegung der Erde herrührenden Schwankungen sind mäßig. Beim Mars dagegen bewirkt die Vergleichbarkeit der Sonnenabstände und Umlaufszeiten sehr merkliche Schwankungen in der scheinbaren Rotationsdauer. Es möge noch beachtet werden, daß auch die Lichtgeschwindigkeit hier überall mitspielt; man muß zufolge den bekannten Dimensionen des Sonnensystems die Zeit, zu welcher uns der Planet einen bestimmten Anblick gewährt, auf die ältere Zeit zurückführen, zu der das uns jetzt begegnende Licht ausgesandt ist. Die sich dann ergebende Übereinstimmung der beobachteten Rotationen mit der Theorie ist wieder eine Bestätigung für die Richtigkeit unserer Annahmen über die Sonnenparallaxe und die Lichtgeschwindigkeit.

* * *

Die Theorie der allgemeinen Schwere liefert uns die Verhältnisse der Planetenmassen zur Sonnenmasse. Die Art der Bestimmung ist aber für die einzelnen Planeten sehr verschieden [1].

Für Merkur steht die Sache am allerschlechtesten. Seine Masse ist so gering, und er steht so nahe bei der Sonne, daß er kaum seine Nachbarin Venus in merklicher Weise zu stören vermag, viel weniger die andern Planeten. Dagegen hat sich ein Komet [2], nämlich der Enckesche, der in einer langgestreckten Ellipse die Sonne umkreist, in seinem Perihel dem Merkur oft genähert und ist dann merklich von ihm gestört worden. Für die Reciproke der Merkursmasse, d. h. für das Verhältnis, in welchem die Masse der Sonne größer ist als jene, hat Encke in den Jahren 1841—1851 aus den Beobachtungen jenes nach ihm benannten Kometen der Reihe nach verschiedene Werte abgeleitet, die sich zwischen 10 252 000 und 3 200 000 bewegen. Später fand von Asten aus der Theorie der Bewegung desselben Kometen 7 636 440 für jene Reciproke, Backlund aus neuern Beobachtungen des Kometen die Zahl 2 668 700. Aus den Venusstörungen fand Rothman 3 182 843, Leverrier 5 310 000. Auf Grund des ganzen Materials hat im Jahre 1882 Newcomb die Zahl 7 500 000 abgeleitet.

[1] Wir folgen im wesentlichen der Aufzählung der Massenbestimmungen, die Harkneß in dem mehrerwähnten Werke On the solar parallax and its related constants gegeben hat.

[2] Über die Kometen vgl. Kap. 31. Sie bewegen sich, wie die Planeten, nach den Gesetzen von Kepler und Newton.

Wie man sieht, ist unsere Kenntnis der Merkursmasse so dürftig, daß an haltbare Vermutungen über seine Natur zunächst noch nicht zu denken ist. Die große Verschiedenheit der einzelnen aus der Bewegung des Enckeschen Kometen abgeleiteten Werte erklärt sich übrigens daraus, daß diese Bewegung schon an sich nicht ganz dem Gravitationsgesetze gemäß zu verlaufen scheint und deshalb zu ihrer vollständigen Erklärung noch eine andere Ursache anzunehmen ist, etwa der Widerstand, den eine im Weltraum fein verteilte Masse dem ebenfalls nicht sehr dicht gewobenen Kometenkörper entgegenstellt. Mit Harkneß wollen wir für die Reciproke der Merkursmasse 8 374 672 ± 1 765 762 annehmen, wobei die zweite Zahl die gewaltige Unsicherheit der ersten angiebt.

Für Venus steht die Sache erheblich besser, da die von ihr auf Merkur einerseits und auf die Erde andererseits ausgeübten Störungen eine annähernd gute Bestimmung gestatten. Vorzüglich kommt die Bewegung des Perihels der Erdbahn und die säkulare Abnahme der Schiefe in Betracht. Mit Harkneß entscheiden wir uns für die Zahl 408 968 ± 1874 als Wert der Reciproken der Venusmasse.

Für die Erde haben wir schon oben einen Näherungswert der Masse gefunden, indem wir (S. 223) den Fall des Mondes zur Erde nach dem Gravitationsgesetze mit dem Fall der Erde zur Sonne verglichen. Es ist zu beachten, daß hierdurch die vereinigte Masse ♁ + ☾ gefunden wird, nicht die Erdmasse allein. Es leidet nun die Bewegung des Mondes so viel von den Störungen durch die Sonne, daß man sich nach schärfern Bestimmungen umsehen muß, und hierbei zeigt sich's, daß gerade die Störungen ein Mittel bieten, Erde und Sonne zu vergleichen und so die Mondmasse von der Erdmasse zu trennen.

Leverrier leitete aus der störenden Wirkung der Erde auf die übrigen Planeten die Zahl 324 490 ab, die später von Tisserand in 325 700 verbessert wurde. Offenbar ist hier der Wert des Verhältnisses ☉ : (♁ + ☾) gemeint, da ja nach außen Erde und Mond gemeinsam wirken. Harkneß nimmt 327 214 ± 624 an.

Zu den merkwürdigsten Störungen des Mondes gehört die parallaktische Ungleichheit. Das Verhältnis der Mondparallaxe zur Sonnenparallaxe, oder was dasselbe ist, des Sonnenabstandes zum Mondabstande, werde mit k bezeichnet, während der Mondabstand als Einheit genommen wird. Dann steht der Neumond um k — 1, der Vollmond um k + 1 von der Sonne ab, während die Erde immer um k von der Sonne entfernt ist. Ist G eine Konstante, so kann man also die Beschleunigungen, welche der Reihe nach der Neumond, die Erde und der Vollmond von der Sonne erfahren, durch die Ausdrücke

$$\frac{G}{(k-1)^2}; \quad \frac{G}{k^2}; \quad \frac{G}{(k+1)^2}$$

bezeichnen, und man sieht leicht, daß die Sonne den ihr näher gelegenen Neumond von der Erde abzuziehen sucht, weil sie ihm eine größere Fallbeschleunigung erteilt als der Erde; dagegen sucht sie die Erde vom Vollmonde abzuziehen, da in dieser Stellung die Erde schneller zur Sonne fällt und der Mond weniger von der geraden Linie abirrt. In beiden Fällen sucht also die Sonne den Mond von der Erde zu trennen, offenbar auch in fast allen mittlern Stellungen. Die trennende Kraft beim Neumonde

$$\frac{G}{(k-1)^2} - \frac{G}{k^2} = \frac{G\,(2k-1)}{k^2\,(k-1)^2}$$

und beim Vollmonde

$$\frac{G}{k^2} - \frac{G}{(k+1)^2} = \frac{G\,(2k+1)}{k^2\,(k+1)^2},$$

setzt sich nun zusammen mit der Kraft, die den Mond um die Erde führt, und bewirkt in seinem Laufe eine von der Phase abhängige Störung, deren Betrag offenbar nicht nur durch das Verhältnis k der Parallaxen, sondern auch durch das Verhältnis der Sonnenmasse zur Erdmasse bestimmt wird. Es ergiebt sich hiernach für das Massenverhältnis ⊙ : ♁ nach Hansens Rechnungen 319 455.

Indessen giebt es noch ein anderes, und zwar ein höchst zuverlässiges Mittel, das Verhältnis der Sonnenmasse zur Mondmasse zu bestimmen, woraus sich dann das Verhältnis der Mondmasse zur Erdmasse ergiebt, da man weiß, wie oft ihre Summe in der Sonnenmasse enthalten ist. Die Gezeiten des Meeres, worüber im 25. Kapitel einiges gesagt werden soll, beruhen auf einer vereinigten Wirkung der Sonne und des Mondes, und die wechselvolle Art, wie sich die anziehenden Kräfte dieser Himmelskörper zusammensetzen, gestatten eine sehr genaue Bestimmung des Massenverhältnisses. Als Endzahlen führen wir nach Harkneß [1] an:

1. Das Verhältnis ⊙ : (♁ + ☾) = 327 214 ± 624, wie vorhin mitgeteilt,
2. „ „ ♁ : ☾ = 81,068 ± 0,238,
3. „ „ ⊙ : ♁ = 331 301 ± 625.

Man kennt also das Verhältnis der Sonnenmasse zur Erdmasse etwa auf seinen 530. Teil genau.

Für die Masse des Mars war man auf die Störungen angewiesen, die er auf die Erde ausübt, ehe die winzigen Möndchen, die ihn begleiten, im Jahre 1877 entdeckt wurden. Sie sind so klein, daß ihre Masse gegenüber der des Hauptplaneten vernachlässigt werden kann; der Vergleich ihrer Fallbewegung mit der der großen Planeten ergab [2] 3 093 500 ± 3295 für die Reciproke der Marsmasse; wie man sieht, mit noch etwas größerer relativer Genauigkeit als bei der Erde, wo die Verhältnisse eben ungünstiger liegen.

Bezüglich der Massen der kleinen Planeten ist man lediglich auf Vermutungen angewiesen, da sie viel zu gering sind, um sich durch Wirkungen zu verraten.

Hingegen gehört die Jupitermasse zu den am besten bekannten Elementen des Sonnensystems. Schon Newton leitete (1726) aus Pounds Beobachtungen des vierten Mondes die verhältnismäßig genaue Zahl 1067 für die Reciproke ab; die Zahl wurde durch Neuberechnungen von Lagrange und Laplace nur unwesentlich verändert. Aus den Saturnstörungen fand (1821) Bouvard die Zahl 1070,5; die später folgenden Bestimmungen stellen wir tabellarisch zusammen:

1823.	Nicolai aus den Störungen der Juno [3]	1053,924
1826.	Encke „ „ „ „ Vesta [3]	1050,36
1837.	Airy aus eigenen Beobachtungen des vierten Mondes .	1046,77
1842.	Bessel aus seinen heliometrischen [4] Beobachtungen aller vier Monde	1047,875 ± 0,158
1872.	Möller aus den Störungen des Fayeschen Kometen . .	1047,788 ± 0,185
1873.	Krüger „ „ „ der Themis [3]	1047,538 ± 0,052

[1] Die 3. Zahl aus den bei H. angegebenen Werten der 1. und 2. abgeleitet.

[2] Nach Hall, dem Entdecker der Monde, dem sich Harkneß anschließt.

[3] Juno, Vesta und Themis gehören zu den kleinen Planeten zwischen der Mars- und der Jupiterbahn. — In den neunziger Jahren leitete S. Newcomb aus den Beobachtungen des kleinen Planeten Polyhymnia die Reciproke 1047,34 ab — wie man sieht, in sehr enger Übereinstimmung mit den andern Zahlen der neuesten Zeit.

[4] Das Heliometer ist eines der feinsten Instrumente zum Messen sehr kleiner Winkel, z. B. der Abstände der Monde von ihren Centralkörpern.

1881.	Schur aus seinen heliometrischen Beobachtungen aller vier Monde	1047,232 ± 0,246
1888.	v. Härdtl aus den Störungen des Winneckeschen Kometen	1047,175 ± 0,014
1891.	Harkneß aus den besten vorliegenden Bestimmungen . .	1047,55 ± 0,20

Die Aufzählung dieser Bestimmungen liefert wieder einen schönen Beweis für die Richtigkeit des Gravitationsgesetzes. Denn abgesehen von kleinen Unterschieden, die sich durch den immerhin geringen Betrag der Jupitermasse gegenüber der Sonnenmasse hinreichend erklären, haben die Bestimmungen nach den verschiedensten Methoden immer dasselbe Verhältnis ergeben, ob man die kleinen Planeten, die Kometen, die eigenen Monde des Jupiter oder den Saturn zu Grunde legte. Der Strenge halber sei bemerkt, daß die Endzahl das Verhältnis der Sonnenmasse zum ganzen Jupiter system bedeutet; doch betragen die Massen der vier Monde [1] zusammen nur den sechstausendsten Teil der Jupitermasse; man kann nämlich ihre Beträge aus den gegenseitigen Störungen berechnen. Wie man sieht, ist die Summe der Trabantenmassen ungefähr so groß, wie die Unsicherheit der letzten Zahl unserer Tafel. Diese Zahl kann also für physische Betrachtungen auch einfach als Reciproke der Jupitermasse selbst gelten.

Von den acht Monden des Saturn eignet sich der sechste, den man Titan nennt, am besten zur Bestimmung der Masse des Planeten; dann der achte Mond, Japetus. Von den neuern Bestimmungen sei die von H. Struve (1888) erwähnt, die, auf Beobachtungen beider Monde beruhend, 3498,0 ± 1,17 für die Reciproke ergiebt, und die von Hall (1889) aus seinen heliometrischen Titanbeobachtungen [2] mit dem Ergebnisse 3500,5 ± 1,44. Mit Rücksicht auf eine ältere Besselsche Bestimmung nach derselben Methode giebt Harkneß als Endmittel der besten Zahlen 3501,6 ± 0,78 an. Es verdient bemerkt zu werden, daß die Störungen Jupiters durch Saturn nahezu dieselbe Zahl ergeben.

Für Uranus erhält man, hauptsächlich aus der Beobachtung seiner beiden äußern Monde, die Zahl 22600 ± 36 als Reciproke der Masse; für Neptun 18780 ± 300 aus den Beobachtungen des einen Mondes dieses Planeten, der mit Sicherheit bekannt ist.

* * *

Während die Masse eines Planeten ein Element ist, das der Astronom für die Erkenntnis der Bewegungsverhältnisse im Sonnensystem nötig hat, ist die Dichte oder Dichtigkeit eine Größe, die dafür im ganzen gleichgültig, aber für die Betrachtung der physischen Beschaffenheit des Planeten desto wichtiger ist.

Bereits früher (S. 220) hat uns die Dichte der Körper oder das Verhältnis ihrer Masse zu ihrem Volumen beschäftigt. Die Dichte eines Planeten kann man zunächst auf die Dichte der Sonne als Einheit beziehen. Ist das Volumen des Planeten gleich dem vfachen Sonnenvolumen und seine Masse gleich dem mfachen Sonnenmasse, so ist seine Dichte $\frac{m}{v}$ von der Dichte des Sonnenkörpers. Für die Erde z. B. ist $v = \frac{1}{1300000}$, $m = \frac{1}{331301}$, also $\frac{m}{v} = \frac{1300000}{331301} = 4$; d. h. die Erdkugel besteht aus viermal dichterem Stoffe als die Sonnenkugel. Für Jupiter, dessen Volumen 1014mal im Sonnenvolumen enthalten ist, während seine Masse

[1] Der später entdeckte innerste Mond kommt wegen seiner geringfügigen Masse gar nicht in Betracht.

[2] Titan ist der größte Mond des ♄.

1047mal kleiner ist als die der Sonne, erhält man beinahe 1 als Dichtigkeitszahl: Jupiter ist fast ebenso dicht wie die Sonne.

Da man ferner das Volumen eines Planeten auch auf das der Erde und seine Masse auf die Erdmasse als Einheit beziehen kann, so kann man die Dichtigkeiten der Planeten auch in Teilen der Erddichte ausdrücken. Man erhält dann 4mal kleinere Zahlen, als wenn man die Sonnendichte zu Grunde legt.

Nun giebt es Methoden, wodurch man für das Verhältnis der Erddichte zu den Dichtigkeiten bekannter Stoffe einigermaßen Zuverlässiges erfahren kann, und damit ist auch die Möglichkeit gegeben, die Dichtigkeiten der Sonne und der Planeten auf diese Stoffe zu beziehen.

Wir haben gesehen, daß das Newtonsche Gesetz von der im geraden Verhältnisse des Produktes der Massen und im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung wirkenden Anziehungskraft in sehr weitem Umfange gilt. Die Sonne wirkt nach diesem Gesetze auf den nahen Merkur und den fast 80mal weitern Neptun. Mars zieht nach diesem Gesetze seine Monde an, von denen der innere nur 9500 km von seinem Centrum absteht, aber auch, wie der Störungsbetrag zeigt, die Erde, welche im Minimum 90 Millionen Kilometer von ihm absteht. Die Folgerichtigkeit des Denkens muß das Gesetz auch auf viel kleinere Massen und auf viel kleinere Entfernungen ausdehnen.

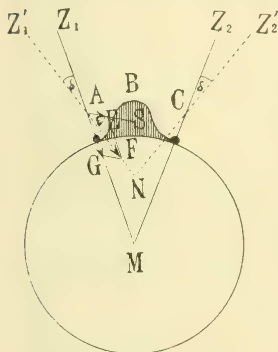


Fig. 86. Bestimmung der Erddichte.

Hat man dieses eingesehen, so begreift man auch leicht die Methode, wodurch Maskelyne und Hutton im Jahre 1778 eine erste Annäherung für den Wert der Erddichte gewonnen haben. Sie beobachteten die Ablenkungen des Lotes zu beiden Seiten des schottischen Berges Shehallien: Es stelle Fig. 86 die Erdkugel vor, auf der sich ein ziemlich regelmäßig gestalteter, hier in weit übertriebener Größe gezeichneter Berg B erhebt. Durch geognostische Aufschlüsse kennt man das specifische Gewicht, d. h. die auf Wasser bezogene Dichte der Hauptmasse des Berges, und da man aus den Ergebnissen der Aufnahmen auch sein Volumen berechnen kann, so hat man auch die in Kilogramm ausgedrückte Masse des Berges, die man sich für die Wirkungen nach außen (mit mäßiger Genauigkeit) im Schwerpunkte S vereinigt denken darf. Hat man in den Punkten A und C, die auf demselben Meridian liegen, Lote angebracht, so werden diese, falls wirklich der Berg eine ähnliche Anziehungskraft ausübt wie die ganze Erde, nach dem Berge hin abgelenkt werden müssen. Ohne die Wirkung des Berges würden, wenn man der Einfachheit halber die Abplattung vernachlässigt, die Lote beide zum Mittelpunkt M der Erdkugel weisen. Wird aber das in A befindliche Lot, welches mit der Kraft AG zum Centrum M strebt, auch noch mit der Kraft AE zum Punkte S getrieben, so muß es zufolge dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte die Richtung Z'_1AF annehmen. Die wahre Zenithlinie des Punktes A, nämlich die Richtung AZ_1 ist der verlängerte Erdradius; man beobachtet aber die scheinbare Vertikale AZ'_1, und zwar mit allen Instrumenten, die deren Bestimmung gestatten; nicht nur das Lot stellt sich in diese scheinbare Vertikale ein, sondern es macht auch mit dieser, und nicht mit AZ_1, die Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit, etwa des Quecksilbers, einen rechten Winkel. Den Ablenkungs=

winkel $Z'_1 A Z_1$ nennen wir δ, und es wird sich, wenn man die Stationen durchaus symmetrisch um den regelmäßig gestalteten Berg legt, dieselbe Ablenkung δ im entgegengesetzten Sinne auf der andern Seite einstellen. Ist k die Anziehung, welche die Masseneinheit in der Entfernungseinheit ausübt, ferner m die in kg ausgedrückte Erdmasse und m' die ebenso gemessene Bergesmasse, endlich r der Erdradius, so hat man, indem man auf $\triangle$ AEF den Sinussatz anwendet und beachtet, daß EF = AG und $\measuredangle$ EFA = δ ist,

$$\frac{k m'}{AS^2} : \frac{k m}{r^2} = \frac{AE}{AG} = \frac{\sin \delta}{\sin \varepsilon'}, \text{ also } m = \frac{m' \cdot r^2 \cdot \sin \varepsilon}{AS^2 \cdot \sin \delta}.$$

Auf der rechten Seite der letzten Gleichung kennt man alles, nämlich 1. m' aus den geognostischen Aufschlüssen; 2. r aus den Gradmessungen; 3. ε und AS aus der Lotbeobachtung in Verbindung mit der nach den Lehren der Mechanik ermittelten Lage S des Schwerpunktes des regelmäßig gestalteten Berges; 4. endlich auch δ. Denkt man sich nämlich $Z'_1 A$ und $Z'_2 C$ bis zum Durchschnitte N verlängert und MN gezogen, so ergiebt sich aus dem Satze über Außenwinkel, daß $\measuredangle\, Z'_1 N Z'_2 = Z_1 M Z_2 + 2\delta$ ist. Der $\measuredangle\, Z'_1 N Z'_2$ ist zu ermitteln: er ist gleich der Differenz der beobachteten scheinbaren Polhöhen, wie man leicht findet, wenn man sich die Erdachse gezogen denkt und erwägt, daß der hier beinahe stumpf erscheinende Winkel in Wahrheit sehr spitz sein wird. Durch geodätische Messungen kann man aber die Größe des Meridianbogens zwischen den zwei Stationen, also auch die des $\measuredangle\, Z_1 M Z_2$ ermitteln. Also ist auch δ zu finden, folglich auch die in kg ausgedrückte Erdmasse m.

Es ist nicht nötig, die vielen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten, womit diese Methode belastet ist, ausführlich zu besprechen. Der Winkel δ beträgt auch bei gewaltigen Bergmassiven immer nur eine kleine Anzahl von Sekunden.

Da man das Volumen der Erdkugel kennt, so kann man, sobald die Masse in kg ermittelt ist, auch ihre Dichte im gewöhnlichen Sinne, d. h. das Verhältnis ihrer Masse zu einer Wassermasse von gleichem Volumen angeben. Hierfür fanden Hutton und Maskelyne die Zahl $4^1/_2$.

Es giebt eine zweite Methode, die auf der direkten Beobachtung der anziehenden Kraft einer genau abgewogenen kugelförmigen Masse beruht. Cavendish bestimmte im Jahre 1798 die Anziehung, die zwei Bleikugeln von je 348,4 englischen Pfund (158,0 kg) aufeinander in bestimmtem Abstande ausüben. Zur Messung der Kräfte diente die Drehwage, bezüglich deren auf die Lehrbücher der Physik[1] verwiesen werden muß. Der ausgezeichnete Physiker erhielt daraus 5,48 ± 0,39 für die auf Wasser bezogene Erddichte, und zwar aus ganz ähnlichen Erwägungen wie Maskelyne. Erteilt nämlich dem angezogenen Körper die Erdkugel, deren Masse m im Centrum vereinigt zu denken ist, aus der Entfernung r die Beschleunigung g und die Bleikugel mit der Masse μ aus der Entfernung ρ die Beschleunigung γ, so ist $\frac{\gamma}{g} = \frac{\mu r^2}{m \rho^2}$, also $m = \frac{\mu r^2 g}{\rho^2 \gamma}$, wo rechts alles bekannt ist, und zwar genauer als bei der Ablenkung des Lotes.

Eine dritte Methode liefern Pendelbeobachtungen. Wir wissen, daß das Sekundenpendel ein direktes Maß für die Schwerebeschleunigung g ist. Denkt man sich von der Meereshöhe aus in einem Luftballon zu 5000 m Höhe aufgestiegen, so wird

[1] J. B. Dressel, Lehrbuch der Physik S. 107.

g vermindert sein im Verhältnisse $\frac{r^2}{(r + 5000)^2}$, wo r der in Metern ausgedrückte Erdradius ist. In diesem Verhältnisse wird also auch das Sekundenpendel kürzer genommen werden müssen. Anders, wenn man sich mit dem Pendel auf einen hohen Berg begiebt. Die Abnahme wird jetzt zum Teil dadurch ausgeglichen, daß auch der Berg das Pendel anzieht. Die Schwerbeschleunigung wird also um den Betrag γ, welcher von dieser Anziehung herrührt, größer als die Rechnung auf Grund der Vergrößerung des Abstandes vom Erdmittelpunkte ergiebt. Hieraus erhält man das Verhältnis $\gamma : g$, und da man auch den Abstand des Gipfels vom Schwerpunkte des Berges kennt, ergiebt sich das Verhältnis seiner Masse zur Erdmasse. Nach dieser Methode, der die Bedenken der Maskelyneschen in geringerem Maße anhaften, fand (1823) Carlini durch Pendelbeobachtungen in Bordeaux und auf dem Mont Cenis die Zahl 4,39 für die Dichte der Erdkugel. Giulio hat später (1840) auf Grund genauerer Bestimmung der Konstanten die Zahl 4,95 aus Carlinis Beobachtungen ermittelt.

Man kann sich auch mit dem Pendel in einen Schacht von h Metern Tiefe begeben. Zufolge dem früher (S. 242) mitgeteilten Satze übt dann die äußerste Erdkruste von h Metern Dicke, wenn man sie als homogen ansehen darf, keine Anziehung auf das Pendel aus; es bleibt nur die Anziehung der innern Kugel, die durch Verminderung des Abstandes vergrößert worden ist. Kann man die Masse der äußern Schale berechnen — es ist das mit ähnlichen Wenn und Aber verknüpft wie Maskelynes Methode —, so gelangt man durch eine ähnliche Schlußreihe wie bei den andern Methoden zur Bestimmung der Masse des Kernes. Hiernach fand 1883 Sterneck durch Pendelbeobachtungen in dem Schachte von Přibram in Böhmen die Zahl 5,77; seine Beobachtungen in andern Schachten gaben sehr abweichende Resultate.

Man kann ferner eine sehr genaue Hebelwage gewöhnlicher Einrichtung durch darunter gebrachte schwere Massen aus dem Gleichgewichte bringen und so die Erdmasse mit dieser Masse vergleichen. Die äußerst geringen Schwankungen der Wage müssen mit großer Sorgfalt beobachtet werden. Der Engländer Poynting fand (1891) auf diese Weise 5, 49 als Erddichte.

Jolly fertigte eine große Wage an, die an einem und demselben Balken zwei Schalen trug, die eine 21,005 m tiefer als die andere. Bringt man einen Körper aus der obern Schale in die untere, so wird er, da der Höhenunterschied ungefähr den 300 000. Teil des Erdradius beträgt, im Verhältnisse $1 : \left(1 - \frac{1}{300000}\right)^2 = 1 : \left(1 - \frac{1}{150000}\right) = 1 + \frac{1}{150000}$ stärker angezogen als vordem. (Über die abgekürzte Rechnung vgl. S. 259.) Jolly benutzte einen mit Quecksilber gefüllten Kolben von 5 kg Gewicht, der also in der untern Schale einen um $\frac{5 \text{ kg}}{150000} = 0{,}033$ gr, genauer 0,0317 gr [1], vermehrten Zug ausübte. Wurde aber unter die untere Schale eine Bleikugel gelegt, so nahm der Kolben durch das Hinabbringen offenbar noch mehr an Gewicht zu, als durch die Annäherung an das Centrum der Erde, und der Betrag dieser vermehrten Zunahme gestattete wieder einen Schluß auf das Massenverhältnis zwischen Erdkugel und Bleikugel. Die Dichte des Bleies ist bekannt. So fand (1883) Jolly die Zahl 5,692 $\pm$ 0,068.

---

[1] Da die Zahl 300000 etwas zu klein ist.

Da die Erddichte eine für die Astronomie äußerst wichtige Zahl ist, wollen wir die Ergebnisse der Versuche aus den letzten Jahrzehnten (fast ganz nach Harkneß) zusammenstellen, wodurch zugleich ein Überblick über die Genauigkeit unserer Kenntnis ermöglicht wird.

1856.	Haughton aus Airys Pendelversuchen im Kohlenschachte zu Harton	5,480
1865.	Pechmann aus Lotablenkungen in den Alpen (Mittelwert)	5,38
1878.	Cornu und Baille aus der mit der Drehwage ermittelten Anziehung einer Quecksilbermasse	5,559
1881.	Mendenhall aus Pendelbeobachtungen in Tokio und auf dem Fudschijama	5,77
1883.	Sterneck aus Přibramer Schachtbeobachtungen	5,77
1883.	v. Jolly mit der von ihm gebauten Wage	5,692 ± 0,068
1889.	Wilsing aus der Anziehung großer Eisencylinder auf ein Pendel	5,579 ± 0,012
1891.	Poynting mit der gewöhnlichen Wage	5,493
	Richarz und Krigar-Menzel nach einer verbesserten Methode mit der Wage	5,505 ± 0,009
1897.	P. Braun nach einer verbesserten Methode mit der Drehwage	5,527284 ± 0,0012

Der Mittelwert 5,576 ± 0,016, wofür sich Harkneß entschieden hat, wird nach den inzwischen bekannt gewordenen neuesten Ergebnissen wohl etwas verkleinert werden müssen, wenn man nicht die auffällige Abweichung dieser Werte von den besten andern auf systematische Fehler zurückführt, wofür eigentlich kein Grund vorliegt. Wir nehmen 5,570 als Verhältnis der mittlern Erddichte zu der des reinen Wassers von 4° C an. Die Dichte der Erdrinde, wie sie durch den Bergbau aufgeschlossen ist, muß als weit geringer angesehen werden. Die besten Bestimmungen ergeben 2,56 ± 0,16, d. h. noch nicht die Hälfte der Dichtigkeit der ganzen Kugel.

Da man nun die Dichtigkeiten der Sonne und der Planeten auf die der Erde beziehen kann, so kann man sie auch auf die Dichte des Wassers und der andern uns bekannten Stoffe beziehen. Man darf sich aber, ehe man zu weitgehenden Schlüssen eilt, die großen Schwierigkeiten der Sache nicht verhehlen. Das Verhältnis der Planetenmasse zur Erdmasse ist mit den kleinen, aber nicht zu vernachlässigenden Fehlern behaftet, die der Bestimmung der Verhältnisse der einzelnen Massen zur Sonnenmasse ankleben. Das Volumen der Erde ist genau bekannt, in das Volumen des Planeten gehen aber die Fehler in der Bestimmung seines Durchmessers und der Sonnenparallaxe mit ihrem dreifachen Betrage ein (vgl. S. 260). Sonach wird schon das Verhältnis der Planetendichte zur Erddichte ziemlich unsicher; und weil auch die Bestimmungen des Verhältnisses der Erddichte zur Dichte des Wassers noch immer einen merklichen Fehler haben können, wiewohl sie in ihrer Gesamtheit die Herrschaft des Gravitationsgesetzes durch eine gute Übereinstimmung bestätigen, so sieht man, daß für die Dichte der Planeten im gewöhnlichen Sinne, also für ihre Verhältnisse zur Dichte des Wassers, nur mehr oder weniger genäherte Werte angegeben werden können, wobei man nie weiß, wie sich die eingegangenen Fehler zu größern zusammensetzen; sie können sich in einem bestimmten Falle auch gegenseitig so vermindern, daß das Ergebnis der Wahrheit zufällig sehr nahe kommt. Bei einem Planeten wie Merkur, dessen Masse so schlecht bekannt ist, kann man auch von keiner wirklichen Kenntnis der Dichte reden, während man über Jupiter viel zuversichtlicher sprechen darf.

* * *

Da alle Körper im Raume einander anziehen, so wird ein Planet insbesondere auch die an seiner Oberfläche befindlichen Körper durch Anziehung festhalten, gerade wie die Erde, nur mit anderer Stärke. Ist r_p der Radius und m_p die Masse des Planeten, während $r_♁$ und $m_♁$ die entsprechenden Größen für die Erde bezeichnen, so erleiden die Körper an der Oberfläche des Planeten eine Beschleunigung g_p, die mit der irdischen Schwerbeschleunigung $g_♁$ durch die Gleichung

$$\frac{g_p}{g_♁} = \frac{m_p}{r_p^2} : \frac{m_♁}{r_♁^2} = \frac{m_p\, r_♁^2}{m_♁\, r_p^2};\ g_p = g_♁ \cdot \frac{m_p}{m_♁} \cdot \left(\frac{r_♁}{r_p}\right)^2$$

verbunden ist. Für Mars z. B. ist $r_p = 0{,}53\, r_♁$, also

$$g_p = 9{,}81 \cdot \frac{331301}{3093500} : \frac{1}{0{,}28} = 3{,}751 = 0{,}382\, g_♁.$$

Es erfährt also ein fallender Körper in der Nähe der Marsoberfläche eine Beschleunigung von 3,75 m in der Sekunde, nur 0,38 von der Beschleunigung, die ihm die Erde in der Nähe ihrer Oberfläche erteilen würde. Man sagt wohl, ein Körper sei auf dem Mars leichter als auf der Erde; der Ausdruck ist aber mißverständlich. Ein Kilogramm bleibt ein Kilogramm, wo im Weltraum es auch sein möge, und ein Wagebalken, der hier durch den Zug eines eisernen Gewichtsstückes und einer gewissen Menge Salz im Gleichgewicht gehalten wird, wird natürlich auch auf dem Mars im Gleichgewichte bleiben, weil die beiden Kräfte in gleichem Maße vermindert sind. Mit einer andern Kraft verglichen, wird sich dagegen die Schwere vermindert zeigen; ist also eine Federwage, wie sie in den Haushaltungen gebraucht werden, richtig geaicht, so wird, wenn sie auf den Mars gebracht ist, dort ein kg nur 382 gr zu wiegen scheinen. Ein Sekundenpendel auf dem Mars müßte im Verhältnisse 0,382 kürzer sein als das irdische. Man sieht, daß hier dieselben Erwägungen stattfinden wie (vgl. S. 145) für die äquatoriale Verminderung der Schwere auf der Erde.

Für den Mond erhält man, da $r_☾ = 0{,}273\, r_♁$ und $m_☾ = \frac{1}{81}\, m_♁$, für die Schwere $g_☾ = 1{,}658$, also eine Verminderung etwa auf den 6. Teil der irdischen Schwere. Hier ist es auch leicht, durch die Beobachtung festzustellen, daß die Schwere sehr gering ist. Ist eine schiefe Ebene um den Winkel α gegen die Horizontalebene geneigt, so zerlegt sich die Schwere g in zwei Teilkräfte, wovon die eine, $g \cos \alpha$, den Körper gegen die Ebene andrückt, während ihm die andere, $g \sin \alpha$, einen Antrieb längs der Ebene erteilt. Wenn nun der Körper durch eine andere Kraft, etwa die Kohäsion, an seinen Ort gefesselt wird, so wird die Teilkraft $g \sin \alpha$ durch jene aufgehoben. Je kleiner g ist, desto größere Neigungen kann man der Ebene geben, bis es einer bestimmten Kohäsionskraft nicht mehr gelingt, den Körper vom Falle zurückzuhalten. Die im Vergleich zu irdischen Formen ungemein schroffen Böschungen auf der Mondfläche erklären sich also leicht durch die verminderte Schwere. — Für Jupiter findet man $g_♃ = 25$ m, für die Sonne wird g etwas größer als 270 m. Dieser gewaltige Druck der Körper auf ihre Unterlage erklärt beim Jupiter und viel mehr noch bei der Sonne die verhältnismäßige Beständigkeit der wolkigen Gebilde in einer so leichten und von so starken Erschütterungen heimgesuchten Masse.

Unsere Kenntnis der Schwerbeschleunigung auf den Planeten ist einer ähnlichen Unsicherheit unterworfen wie die Kenntnis der Dichtigkeiten, nur daß der Planetenradius jetzt mit seinem Quadrate, dessen kleiner Fehler also mit dem doppelten und nicht mehr mit dem dreifachen Betrage eingeht.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Konstellationen, Bedeckungen und Finsternisse.

Der Anblick des gestirnten Himmels würde, wenn nicht der Mond und die Planeten da wären, nur von der Polhöhe, der Tages- und Jahreszeit abhängen. Schon diese drei Elemente bringen eine große Mannigfaltigkeit der Erscheinungen zu stande, vorzüglich in den mittleren und höheren geographischen Breiten. Die Lage des Horizontes zum Fixsternhimmel ist allerdings z. B. am 21. Juni 12^h dieselbe wie April 21. 16^h, Mai 6. 15^h, Mai 21. 14^h, Juni 6. 13^h, Juli 6. 11^h, Juli 21. 10^h, August 6. 9^h, August 21. 8^h. Alle diese Zeitpunkte entsprechen ja der Sternzeit 18^h (vgl. S. 71). Aber die Stellung der Sonne zum Horizonte ist an diesen Tagen so verschieden, daß thatsächlich auch ganz verschiedene Sichtbarkeitsverhältnisse herauskommen. Das Dämmerlicht ist April 21. und August 21. zu den angegebenen Zeiten so hell, daß nur die Sterne der ersten und einzelne der zweiten Größe bei günstigem Wetter sichtbar sind, und zwar April 21. 16^h im Westen, August 21. 8^h im Osten, dem Dämmerlichte jedesmal gegenüber. In der Zwischenzeit hat das Dämmerungssegment sehr verschiedene Lagen, Juni 21. 12^h genau im Norden, Mai 21. 14^h im Nordosten, Juli 21. 10^h im Nordwesten. Die Sichtbarkeit bestimmter Sternbilder wird in ganz verschiedener Weise beeinträchtigt. — Die veränderliche Durchsichtigkeit der Luft spielt auch noch hinein: gegen den Hochsommer wird sie am größten, und bei strengem Froste scheint sie sehr gering zu sein — im Gegensatze zu der landläufigen Annahme, die das stärkere Funkeln der Sterne im Winter für ein Zeichen größerer Klarheit hält.

Noch viel mehr wird indessen der Anblick des Sternenhimmels geändert durch den wechselvollen Lauf des Mondes und der Planeten; namentlich die Erscheinungen, die man unter dem Namen der Konstellationen[1] zusammenfaßt, sind von einer solchen Mannigfaltigkeit, daß ein langes Menschenleben nicht hinreicht, um auch nur die Abänderungen alle zu beobachten, die sich beim ersten Anblick als solche herausstellen.

Um das zu begreifen, erwägen wir, daß es eine wichtige Ebene giebt, der die helleren Planeten und der Mond immer verhältnismäßig nahe sind. Das ist die Ebene der Ekliptik; sie geht durch die Schwerpunkte der Sonne

[1] Man gebraucht das Wort nicht nur in dem Sinne, den der Text nachher erklärt, sondern auch wohl für ein festes Sternbild, indem man etwa von der Konstellation des Kreuzes oder des Großen Bären redet. Die übertragene Bedeutung (politische, geschäftliche Konstellation) hält dagegen an dem Sinne der Veränderlichkeit fest und spielt auf den astrologischen Aberglauben an.

und der Erde [1] und ist die Bahnebene unseres Planeten. Die Himmelskugel wird von dieser Ebene in einem Hauptkreise geschnitten, welcher den Namen Ekliptik führt; man vergegenwärtige sich sorgfältig den Sinn dieser geometrischen Angabe (vgl. S. 5—6; 65—66; 232—233).

Von der Ekliptik ist regelmäßig die eine Hälfte über dem Horizonte und die andere darunter; denn der Horizont ist gleich der Ekliptik ein Hauptkreis der Sphäre, und zwei Hauptkreise halbieren sich gegenseitig. Daraus folgt dann auch, daß immer der aufgehende Punkt der Ekliptik dem untergehenden genau gegenüberliegt.

Die Ebene der Bahn, welche der Mond um die Erde zieht, ist unter einem Winkel von etwa 5° gegen die Ebene der Ekliptik geneigt. Aber infolge einer Störung durch die Sonne, die sehr an die Präcession erinnert, dreht sich die Durchschnittslinie der beiden Ebenen, die sogen. Knotenlinie des Mondes, in etwa 18 Jahren einmal herum. Schon dieser Knotenumlauf, den wir früher (S. 106—108) eingehender besprochen haben, zeitigt eine Menge von interessanten Verschiedenheiten. Ist der aufsteigende Knoten in der Länge von 0° gelegen, so bedeutet das eine Erhebung des Mondes über die Ekliptik nach Norden, die mit der Erhebung der Ekliptik über den Äquator zusammentrifft. Der Mond steht dann, wenn er die Länge von 90° erreicht hat, um die Summe seiner Bahnneigung und der Schiefe [2] nördlich vom Äquator, also um 23° 27′ 8″ + 5° 8′ 40″ = 28° 35′ 48″. Das ist die nördlichste Decl, die der Mond erreichen kann, und sie bringt für die Nordhalbkugel der Erde den größten, für die Südhalbkugel den kleinsten Tagebogen zuwege. Fällt der Zeitpunkt, wo der Mond die Länge 90° und gleichzeitig sein Knoten die Länge 0° hat, auch noch mit einer Sonnenlänge von 270°, d. h. mit dem 21. Dezember zusammen, so hat der Vollmond für die Nordhalbkugel der Erde den größten Tagebogen, d. h. diese Halbkugel erhält die größtmögliche Fülle von Mondlicht. Hat dagegen der aufsteigende Mondknoten die Länge 0°, der Mond selbst aber 270°, so ist es klar, daß die Decl des Mondes nur — 23° 27′ 8″ — 5° 8′ 40″ = — 28° 35′ 48″ betragen wird, daß also der Mond für die Nordhalbkugel den kleinsten Tagebogen hat. Fällt dieser Zeitpunkt in den Hochsommer, wo die Sonnenlänge 90° beträgt, so ist der Vollmond in der ungünstigsten Stellung für uns.

Wie man sieht, vergrößert sich die Schwankung in der Decl und dem Tagebogen des Mondes, wenn der aufsteigende Knoten bei 0° Länge liegt. Fällt er dagegen in 180°, so leitet man leicht für das Maximum und das

[1] Für den Schwerpunkt der Erde hat streng genommen der Schwerpunkt des Systems Erde-Mond einzutreten. Vgl. S. 250.

[2] Wir nehmen die mittlere Schiefe für 1900,0. Vgl. S. 250.

Minimum der Decl $\pm 23^{0}\,27'\,8'' \mp 5^{0}\,8'\,40'' = \pm 18^{0}\,18'\,28''$ ab, also eine geringere Schwankung in der Decl und dem Tagebogen als bei der Sonne. Die mittleren Lagen des aufsteigenden Mondbahnknotens ergeben mittlere Verhältnisse; im ganzen sieht man, daß die Mondörter in einer Zone liegen, die sich zu beiden Seiten der Ekliptik in der Breite von je $5^{0}\,48'\,9''$ erstreckt. Der aufsteigende Mondbahnknoten liegt[1] in der Länge

$$33^{0}\,16'\,31'',15 - 69629'',3961\,(t - 1800) + 8'',189\,(t - 1800)^{2} + 0'',007159\,(t - 1800)^{3},$$

wo t die Jahreszahl bedeutet und das Glied 69629″,3961 auch durch 19° 20′ 29″, 3961 wiedergegeben werden kann. Es versteht sich, daß im Bedarfsfalle ein Vielfaches von 360° zur Länge addiert wird.

Bewegten sich die Planeten in der Ekliptik, so müßten sie hier für unser Auge häufig zusammenzutreffen scheinen. Denn sie scheinen sich alle in verschiedenen Umlaufszeiten in derselben Richtung um die Erde zu bewegen, und wenn in jeden Umlauf der Epicykel eingeschaltet wird, der die früher besprochenen Stillstände und Rückgänge bewirkt, so wird sich am Ende noch häufiger ein Zusammentreffen zweier Planeten ergeben, als für den heliocentrischen Beobachter.

Nun sind die Bahnen der Planeten mehr oder weniger gegen die Ekliptik geneigt; das scheinbare *Zusammentreffen* in der Ekliptik wird sich darum im allgemeinen auf eine große scheinbare *Annäherung* beschränken.

Wenn zwei Planeten in einem bestimmten Zeitpunkte dieselbe geocentrische Länge haben, so sagt man, daß für sie eine *Konjunktion in Länge* stattfindet. Ihre Breiten werden dann gewöhnlich etwas verschieden sein, weil die Planetenbahnen verschiedene Neigungen gegen die Erdbahn besitzen, auch die Knotenlinien verschieden liegen und zudem die geocentrische Abweichung von der Ekliptik nicht dieselbe ist wie die heliocentrische. Wir wollen die soeben sphärisch erklärte Konjunktion in Länge auch noch stereometrisch erklären. Sie findet statt, wenn die Mittelpunkte der beiden Planeten mit einer durch das Centrum der Erde senkrecht zur Ebene der Erdbahn gelegten Linie in einer Ebene liegen. Die Richtungslinien von der Erde nach den beiden Planeten machen dann miteinander nur einen kleinen Winkel, und für den irdischen Beobachter scheinen die Planeten zusammenzustehen[2], obwohl sie im Raume weit voneinander entfernt sind. Ist z. B. Venus mit Jupiter in Konjunktion, was man mit ♀ ☌ ♃ bezeichnet, so steht ♃ immer weit hinter der ♀. — Man kann die Konjunktion auch auf RA beziehen. Stehen zwei Planeten in demselben Deklinationskreise, d. h. liegen ihre Centra mit der Erdachse in einer Ebene, so haben sie eine Konjunktion

[1] Im Mittel, nämlich abgesehen von kleinen periodischen Änderungen.

[2] Coniunctio = Verbindung.

in RA, und sie müssen dann gleichzeitig kulminieren. Wegen der Schiefe der Ekliptik findet die Konjunktion in RA nicht genau zu derselben Zeit statt wie die Längenkonjunktion. Ist der Mond in Längenkonjunktion mit der Sonne, so haben wir Neumond, gemäß der frühern Definition.

Bei seinem schnellen Laufe, der ihn in $27^1/_3{}^d$ um die Erde führt, kommt der Mond mit allen Planeten häufig in Konjunktion. Diese Erscheinungen beleben den Anblick des Himmels ganz besonders. Im Vergleich zum Monde kann man für eine erste Übersicht die Planeten als unbewegt annehmen. Nun ändert sich die Länge des Mondes durchschnittlich im Tage um $13^0\,11'$, in der Stunde um $0^0\,33'$. Wie man sieht, entspricht die stündliche Änderung ungefähr der mittlern scheinbaren Größe des Mondes. Steht der Mittelpunkt des Mondes augenblicklich um seinen dreifachen Durchmesser rechts[1] vom Jupiter, so ist vorauszusagen, daß der Mond den Planeten in 3^h eingeholt haben und daß er nach weiteren 3^h ebensoweit links vom Monde stehen wird, wie vordem rechts. Indem nun die tägliche Bewegung des Himmels ungehindert weiter geht, ändert sich die Stellung von Mond und Jupiter auch in Bezug auf den Horizont. Die augenblickliche Stellung des Mondes zur Sonne, also seine Phase, prägt sich in seiner Lichtgestalt aus, und seine augenblickliche Lage zur Knotenlinie seiner Bahn, in Verbindung mit der entsprechenden Größe für Jupiter, bestimmt es, ob wir den Mittelpunkt des Mondes mehr oder weniger weit nördlich oder südlich über oder unter dem Planeten hinziehen sehen, oder ob in der Konjunktion eine Bedeckung des Jupiters stattfindet. Von einer Bedeckung redet man allemal dann, wenn zwei Himmelskörper so stehen, daß sich gerade Linien vom Beobachter aus in gleicher Richtung durch die beiden Körper ziehen lassen. Es muß uns dann der nähere den Anblick des entferntern ganz oder zum Teil rauben.

Da die Planeten Merkur und Venus der Sonne näher sind als die Erde, so sind ihre an der Sphäre gemessenen Winkelabstände von der Sonne immer klein. Mit dem Monde können sie darum nur dann in Konjunktion treten, wenn auch der Winkel ☾ ♁ ☉ klein ist, d. h. einige Tage vor oder nach dem Neumonde. Nun ist Venus für uns der hellste Planet; sie kann nur mit der Mondsichel Konjunktionen haben, abends mit der zunehmenden, morgens mit der abnehmenden. Diese Konjunktionen sind gerade der Sichelgestalt wegen besonders schön; und da die heliocentrische Breite der Venus im Maximum $\pm\,3^0\,23'\,35''$ beträgt und die geocentrische bei der großen Nähe des Planeten noch stärker schwankt, so sind die wechselseitigen Stellungen hier sehr mannigfaltig; die geocentrische Mondbreite schwankt ja auch zwischen $\pm\,5^0$. — Die Figur am Schlusse des 25. Kapitels stellt

[1] Für Beobachter in mittlern und höhern Breiten der Nordhalbkugel.

☾ ☌ ♀ dar in Verbindung mit einem Halo (s. dort). Auch das aschgraue Mondlicht ist zu bemerken.

Sind die Längen zweier Planeten um 180° verschieden, so sagt man, daß die Planeten in *Opposition* stehen. Das Zeichen ist ☍, z. B. ☿ ☍ ♄, Merkur in Opposition zum Saturn. Die Opposition des Mondes zu der Sonne heißt Vollmond. Die Sonnenoppositionen der Planeten haben uns früher beschäftigt. Merkur und Venus können nie zur Sonne in Opposition treten; sie erfahren aber zwei Arten von Konjunktionen, die untere, wenn für uns der Planet vor der Sonne, die obere, wenn er hinter ihr steht.

Die Oppositionen der Planeten unter sich sind natürlich keine auffallenden Konstellationen, schon darum, weil die beiden Körper nicht gleichzeitig über dem Horizonte stehen. Sie haben aber dem sterndeuterischen Aberglauben zu allerhand Behauptungen dienen müssen. Ähnlich ist es mit den übrigen besonderen gegenseitigen Planetenstellungen oder *Konstellationen*, auch wohl *Aspekten*, nämlich dem sechsten, vierten und dritten Schein, wo die Längen der Planeten um 60°, 90° oder 120° verschieden sind. Die Zeichen dafür sind ✱, □ und △. Der Geviertschein heißt auch *Quadratur*; so ist in den Mondvierteln ☾ □ ☉.

* * *

Der Begriff der *Bedeckung* ist vorhin aufgestellt worden. Versuchen wir uns die verschiedenen Umstände, unter denen sie stattfinden kann, klar zu machen. Es seien zwei kugelförmige Himmelskörper gegeben, die an beliebiger Stelle stehen, und es werde zunächst nur ein einziger Beobachtungsort betrachtet. Die Tangenten, welche man von dem Beobachtungsorte aus an die eine Kugel legen kann, erfüllen einen Kegelmantel; einen andern die an den zweiten Himmelskörper gelegten Tangenten. — Die Weite eines solchen Kegelmantels oder der Winkel des Achsenschnittes hängt von der scheinbaren Größe des Himmelskörpers ab, d. h. vom Verhältnisse seines wahren Durchmessers zur Entfernung. Der Mantel kann also für einen großen, aber sehr weit entfernten Himmelskörper unter Umständen enger sein, als für einen kleinen, aber sehr nahen. — Bewegen sich die beiden Himmelskörper, dann wird man, solange die Kegelmäntel nur mit der Spitze zusammenstoßen, an der Sphäre zwei getrennte Scheiben sehen. Wird aber die Annäherung so weit fortgesetzt, daß die Kegel eine Mantellinie gemeinsam haben und im übrigen auseinander fallen, so erfahren die Scheiben eine *äußere Berührung*. Haben die Kegel zwei Mantellinien gemeinsam, so schneiden sich die Scheiben an der Sphäre; sie haben ein gemeinsames Stück, d. h. der nähere Körper bedeckt den entferntern zum Teil. Liegt der eine Mantel ganz in dem andern, so jedoch, daß sie noch eine Linie gemeinsam haben, so *berühren* sich die Scheiben *innerlich*. Ist uns in

diesem Falle der Himmelskörper näher, der den engern Kegelmantel giebt, also den kleinern scheinbaren Durchmesser hat, so wird er in der innern Berührung einen kreisförmigen Teil des größern bedecken; und das wird offenbar auch dann stattfinden, wenn in diesem Falle der größere Mantel den kleinern vollständig einschließt. Wenn aber der Himmelskörper mit dem kleinern scheinbaren Durchmesser hinter dem andern steht, so ist in der innern Berührung und beim Ineinanderfallen der Mäntel von dem kleinern Körper gar nichts zu sehen. Alle diese leicht verständlichen Sätze gelten unter der Voraussetzung, daß nicht etwa der nähere Körper eine Atmosphäre besitzt, in welcher das vom entferntern ausgehende Licht von seiner geraden Bahn abgelenkt wird.

Kennt man die Örter der beiden Himmelskörper nach RA und Decl oder auch nach Länge und Breite und ferner für jeden die Geschwindigkeit, womit er die beiden Koordinaten ändert, so kann man den Verlauf des Bedeckungsphänomens vorausberechnen. (Beispiele findet man in der bekannten Aufgabensammlung von Heis.)

Unter Umständen ist hierbei die Lage des Beobachtungsortes auf der Erde ganz gleichgültig. Die sphärische Betrachtung zeigt das am deutlichsten. Es bewirken z. B. die Umläufe der Jupitermonde um ihren Centralkörper ziemlich regelmäßig wiederkehrende Bedeckungen. Bald geht ein Mond vor dem Jupiter her und verdeckt uns ein kreisförmiges Fleckchen von dessen Oberfläche; bald verbirgt er sich hinter der mächtigen Scheibe des Planeten oder auch in dessen Schatten. Nun ist zwar der scheinbare Ort des Jupiter wegen der täglichen Parallaxe für alle irdischen Beobachter etwas verschieden; da aber diese Parallaxe nur wenige Winkelsekunden beträgt und außerdem der Natur der Sache nach für den Satelliten fast genau ebenso groß ist wie für den Hauptplaneten, so verläuft die Erscheinung für die ganze Erde sehr genau in gleicher Weise, und auch die Zeitpunkte, etwa für die äußern und die innern Berührungen, stimmen auf die Sekunde überein[1]. Wir werden später von Bedeckungen im Fixsterngebiete hören; für diese gilt die Übereinstimmung noch viel strenger.

Ist aber der eine Himmelskörper nahe genug, um eine merklichere Parallaxe zu besitzen, und der andere viel weiter entfernt, so fallen nicht nur die Zeitpunkte für die einzelnen Beobachter verschieden aus, sondern das ganze Phänomen verläuft hier anders als dort. So wenn der Mond den Jupiter bedeckt. Die Ebene der Mondbahn in ihrer jeweiligen Lage schneidet

---

[1] Natürlich die absoluten, auf einerlei Zeitrechnung bezogenen Momente, z. B. die Kontakte nach mitteleuropäischer Zeit, während die Ortszeiten verschieden sind. — Die Eintritte in den Schatten des Jupiter stimmen offenbar streng für alle Erdenorte überein, ähnlich wie die unten zu besprechenden Kontakte bei der Mondfinsternis.

aus der Erdoberfläche einen Hauptkreis, und es ist klar, daß auf der dem Monde zugewandten Hälfte dieses Kreises die westlicheren Stationen den Satelliten in seiner Laufrichtung nach Osten verschoben sehen, die östlicheren nach Westen. Auf den kleinern Parallelkreisen zu diesem Kreise ist es ähnlich, es kommt aber noch hinzu, daß der Mond, wenn man nördlich von jenem Hauptkreise steht, nach Süden abzuweichen scheint, und wenn man südlich davon steht, nach Norden. Ähnliche Erwägungen finden für den Jupiter statt; doch ist hier die Parallaxe so viel kleiner, daß sie bei der ersten Betrachtung vernachlässigt werden kann. Wir wollen nun annehmen, daß in einem bestimmten Falle im Augenblicke der Konjunktion die Centra von Erde, Mond und Jupiter genau in gerader Linie stehen. Für einen Beobachter im Centrum der Erde würde dann die Bedeckung central verlaufen, d. h. es würde sich für ihn das Centrum des Mondes vor dem Centrum des Jupiter vorbeischieben. Vier Zeitpunkte wird er besonders beobachten: den ersten äußern Kontakt, womit die Bedeckung beginnt; den ersten innern, womit Jupiter verschwindet; den zweiten innern, womit er wieder aufzutauchen beginnt; den zweiten äußern, womit die Bedeckung ihr Ende erreicht. Für den Beobachter, welcher im Augenblicke der Konjunktion den Mond im Zenith hat, wird die Sache ähnlich verlaufen, obwohl hier bereits eine gewisse Verzögerung stattfindet. Um das einzusehen, bedenke man, daß die Erdenbewohner, die auf der westlichen Hälfte des vorhin bestimmten Hauptkreises leben, die sämtlichen Kontakte verfrüht sehen, da ihnen die Parallaxe den Mond nach Osten, d. h. in seiner Laufrichtung, verschiebt. Die auf der östlichen Hälfte wohnenden sehen alles verspätet. Da jeder Ort durch die Achsendrehung von Westen nach Osten geführt wird, so treten jedenfalls die letzten Kontakte für ihn relativ später ein als die ersten. Die Achsendrehung der Erde verzögert also den Vorgang, auch für den Ort, der Mond und Jupiter im Zenith hat.

Nun verschiebt für südlichere Orte die Parallaxe den Mond nach Norden, für nördlichere nach Süden. Da die Horizontalparallaxe des Mondes 57′ beträgt, also 3- bis 4mal größer ist als der Halbmesser des Mondes, so erreicht man nördlich von dem mehrerwähnten Hauptkreise der Erdkugel bald ein Gebiet, wo man überhaupt keine Bedeckung mehr beobachten kann, vielmehr den Mond südlich unter dem Jupiter wegziehen sieht; im Süden entsprechend ein Gebiet, für welches der Mond nördlich unter[1] dem Jupiter wegzieht.

So müssen denn die Bedingungen einer Bedeckung durch den Erdmond sorgfältig für die einzelnen Orte der Erde vorausberechnet werden. Sehr häufig bedeckt der Mond Fixsterne, und wir haben früher (S. 113) gesehen,

[1] Unter und nicht über, da für die Südhalbkugel die Begriffe zu vertauschen sind.

welche Schlüsse aus diesen Bedeckungen gezogen werden. Wegen der Unmeßbarkeit der Fixsterndurchmesser fallen hier die beiden ersten Kontakte zusammen, und ebenso die beiden letzten.

Geht Merkur oder Venus in der untern Konjunktion zwischen uns und der Sonne durch, und ist der Planet dabei nahe dem einen oder andern Knoten seiner Bahn, also bei der Ekliptikalebene, so bedeckt der Planet von der Sonne einen sehr kleinen Teil. Er scheint dann eine Sehne der Sonnenscheibe zu beschreiben, und zwar offenbar von links nach rechts für den europäischen Beobachter. Diese Merkurs- und Venusdurchgänge, deren Wichtigkeit für die Bestimmung der Sonnenparallaxe früher (S. 187) hervorgehoben worden ist, stellen also wieder einen besondern Fall des allgemeinen Bedeckungsphänomens dar. Ihr verschiedener Verlauf für die einzelnen Erdbewohner ist es, worauf sich die Berechnung der Parallaxe zu stützen hat. (Weiteres s. S. 299 ff.)

* * *

Die merkwürdigsten Bedeckungen sind die Sonnenfinsternisse. Der Mond in seiner Sonnenkonjunktion, also der Neumond, muß zwar immer zwischen Erde und Sonne durchgehen; aber wegen der Neigung der Mondbahnebene gegen die der Ekliptik ist er meistens zu weit nördlich oder südlich von der Ekliptikalebene entfernt, als daß sich eine gerade Linie durch Sonne, Mond und Erde legen ließe. Um das zu ermöglichen, muß der Mond, ähnlich wie in dem zuletzt betrachteten Beispiele Merkur oder Venus, einem Knoten seiner Bahn nahe stehen. Hat das einmal stattgefunden, so tritt es vorläufig nicht wieder ein. Denn schon die nächste Konjunktion findet in einer um fast 30° größern Länge statt, wo sich der Mond von seinem Knoten (der überdies langsam in entgegengesetzter Richtung wandert) schon zu weit entfernt hat. Nur ausnahmsweise (vgl. den Schluß dieses Kapitels) folgt auf eine Sonnenfinsternis nach einer einzigen Lunation eine zweite.

Im 12. Kapitel haben wir die verschiedenen Arten des Monats definiert, was jetzt noch einmal mit Rücksicht auf die inzwischen gewonnenen Kenntnisse geschehen soll. Von dem siderischen Monate (vgl. S. 238) absehend, bestimmen wir den tropischen als die Zeit, die der Mond zum Durchlaufen sämtlicher Längen braucht, nämlich $27^d,3216$. Infolge der Störungen durch die Sonne wandern die Mondbahnknoten rückwärts; der drakonitische Monat also, den der Mond braucht, um zum aufsteigenden Knoten zurückzukehren, ist kürzer als der tropische, nämlich $= 27^d,2122$. Dieselben Störungen lassen das Perigäum der Mondbahn, also die große Achse der Bahnellipse, langsam rechtläufig weitergehen, so daß der Monat, nach dem sich die Anomalie in der elliptischen Bahn (vgl. S. 201) richtet, oder der anomalistische Monat länger ist als der tropische, nämlich $= 27^d,5546$. Endlich ist der synodische Monat gleich der Zeit von einem Neumonde bis zum nächsten,

nämlich $29^d,5306$. Alle diese Werte sind Mittelwerte, von denen sich die jeweiligen wahren mehr oder weniger weit entfernen können. Wir haben an der erwähnten Stelle (S. 110—111) bestimmte Vielfache des drakonitischen, anomalistischen und synodischen Monats zusammengestellt und daraus nachgewiesen, daß, wenn heute eine Konjunktion des Mondes mit der Sonne in der Nähe eines Knotens, also eine Sonnenfinsternis stattfindet, sich dieses Ereignis nach 6585^d oder etwa 18 Jahren und 11 Tagen unter ähnlichen Umständen wiederholen muß, aber an einer um 11^0 Länge weiterliegenden Stelle der Ekliptik. Der 6585tägige Zeitraum heißt die Saros-Periode oder der Saros.

Wenn nicht nur überhaupt eine gerade Linie durch Sonne, Mond und Erde gezogen werden kann, sondern auch die Centrale Sonne-Mond, d. h. die Verbindungslinie der Centra dieser beiden Himmelskörper, durch die Erdkugel geht, so erleben die Anwohner des zunächst getroffenen Punktes eine centrale Finsternis, d. h. es geht für sie das Centrum des Mondes vor dem der Sonne her. Offenbar braucht das nicht bei jeder Finsternis stattzufinden; es kann ja der Mond so weit nördlich von der Ekliptik stehen, daß zwar eine vom Centrum der Sonne durch die südliche Hälfte des Mondes gezogene Linie verlängert durch die Erde geht, die Centrale aber nördlich über der Erde weiterzieht. Eine nicht centrale Finsternis verläuft überall, wo man sie überhaupt sehen kann, partial, d. h. es wird nur ein Teil der Sonne vom Monde bedeckt.

Eine centrale Finsternis betrifft niemals einen Punkt allein; denn da sich Mond und Erde verschieben, so zieht die Centrale Sonne-Mond auf der Tagseite der Erdoberfläche eine Kurve der centralen Verfinsterung, die durch die Achsendrehung der Erde noch geändert wird. — In dem Augenblicke, wo die verlängerte Centrale die Erdachse schneidet, liegt sie in der Meridianebene des von ihr getroffenen Ortes auf der Tagseite. Dieser Ort erlebt also eine centrale Verfinsterung im wahren Mittage.

Bedeckt der Mond einen Planeten central oder auch nur so, daß der kürzeste scheinbare Abstand der Centra ebenso groß oder kleiner als die Differenz der scheinbaren Radien ist, wie beim Jupiter in dem vorhin besprochenen Beispiele, so verschwindet der Planet vollständig hinter dem Monde. Den umgekehrten Fall haben wir, wenn ein Jupitermond vor seinem Centralkörper oder Venus vor der Sonne einhergeht: der kleine Körper verdeckt einen kreisförmigen Ausschnitt aus der Scheibe des größern. Die centralen Sonnenfinsternisse bieten uns merkwürdigerweise beide Fälle.

Infolge der elliptischen Bewegung der Erde ist nämlich mit der Entfernung der Sonne auch ihre scheinbare Größe etwas veränderlich. Der Winkeldurchmesser hat im Mittel (März 31. und Oktober 4.) die Größe 32′ 0″, geht jedoch im Perihel (Januar 1.) auf 32′ 32″ herauf und im Aphel (Juli 2.)

auf 31′ 28″ herab. Diese Zahlen sind leicht zu behalten, wenn man bedenkt, daß die Excentricität der Erdbahn ziemlich genau $= \frac{1}{60}$ ist. Es ist also, wenn a die mittlere Entfernung ist, a (1 — e) der Perihelabstand, a (1 + e) der Aphelabstand. Und ist ρ der mittlere Winkeldurchmesser, so hat man im Perihel $\rho_\pi = \rho : \left(1 - \frac{1}{60}\right) = \rho \cdot \left(1 + \frac{1}{60}\right)$ nach der bekannten Näherungsformel (S. 229 Anm. 1). Im Aphel hat man $\rho_a = \rho : \left(1 + \frac{1}{60}\right) = \rho \cdot \left(1 - \frac{1}{60}\right)$. Da 1′ = 60″, so beträgt die Verminderung oder Vermehrung so viele Sekunden als der Mittelwert Minuten hat, wie das auch die angegebenen Zahlen aufweisen.

Weit excentrischer als die Erdbahn ist die Bahn des Mondes. Ihre numerische Excentricität ist gleich 0,055, etwa = 1 : 18,2. Im mittleren Abstande hat er den Winkeldurchmesser 31′ 6″, woraus im Perigäum 32′ 49″ und im Apogäum 29′ 23″ werden können. Thatsächlich betragen aber die Grenzwerte 33′ 54′ und 29′ 24″, da die Sonnenstörungen den Mondlauf sehr unregelmäßig gestalten und auch die Parallaxe des Mondes mitspielt[1]. Vergleicht man die Zahlen mit den für den Sonnendurchmesser gegebenen, so erkennt man, daß der Mond unter Umständen größer und unter Umständen kleiner als die Sonne aussieht. Die centrale Sonnenfinsternis wird im ersten Falle *total* und im zweiten *ringförmig* verlaufen, d. h. es wird entweder die Sonne für kurze Zeit vom Monde vollständig bedeckt, oder es bleibt im Augenblicke der centralen Finsternis ein heller Kreisring zurück; denn der Mond wird, wie wir (vgl. S. 112) wissen, von der Sonne erleuchtet, muß uns also als Neumond seine dunkle Seite zuwenden. Auch dort, wo der Durchgang nur *beinahe* central ist, kann man noch eine totale oder ringförmige Finsternis beobachten. Da jedoch der Unterschied zwischen den scheinbaren Durchmessern der beiden Gestirne gering und andererseits die Parallaxe des Mondes recht groß ist, so zeigt sich's, daß diese merkwürdigen und seltenen Erscheinungen immer nur auf einem kleinen, scharf begrenzten Gebiete der Erdoberfläche sichtbar sind; für alle andern Gebiete, wo sie überhaupt sichtbar ist, bleibt die Finsternis partial, und das ist sie auch im Gebiete der Totalität oder Ringform in der Zeit vor und nach der Sichtbarkeit dieser Gestalten.

Wenngleich die rein sphärische Betrachtung der Finsternisvorgänge zu ihrem vollen Verständnis hinreicht und bei der wissenschaftlichen Vorausberechnung vorgezogen wird, so gewinnt die Sache doch sehr an Deutlichkeit, wenn man den Begriff des *Schattens* einführt. Es seien (Fig. 87)

---

[1] Der Beobachter, der den Mond im Zenith hat, sieht ihn am größten; die Beobachter, die ihn im Horizonte haben, sehen ihn, trotz des entgegengesetzten Anscheines, am kleinsten wegen der größern Entfernung.

zwei auseinanderliegende Kreise mit den Radien r_1 und r_2 um die Centra C_1 und C_2 beschrieben. Dann lassen sich vier gemeinsame Tangenten an die Kreise legen: zwei äußere durch E, zwei innere durch I. Die Geometrie lehrt, daß $EC_1 : EC_2 = IC_1 : IC_2 = r_1 : r_2$ ist; mit andern Worten: die äußern Tangenten teilen die Centrale äußerlich, die innern innerlich im Verhältnis der Radien. Es sind E und I die einzigen Punkte der Centrale, an denen man den einen Kreis ebenso groß sieht wie den andern; der scheinbare Durchmesser ist in dem einen Falle der Winkel der äußern, in dem andern der der innern Tangenten. Dreht man die Figur[1] um die Centrale XY als Achse, so entstehen zwei Kugeln aus den zwei Kreisen; die äußern Tangenten beschreiben die Mäntel zweier Kegel, sogen. Scheitelkegel, mit der Spitze in E, die innern zwei Kegelmäntel mit der Spitze in I. Wenn nun die Kugel um C_1 als leuchtend und die kleinere um C_2 als dunkel aufgefaßt wird, so ergeben sich leicht folgende Sätze: In den um C_2E liegenden Kegel dringt gar kein Licht ein, es herrscht hier totale Finsternis. In seinem unendlich großen Scheitelkegel rechts von E wird an jedem Punkte eine ringförmige

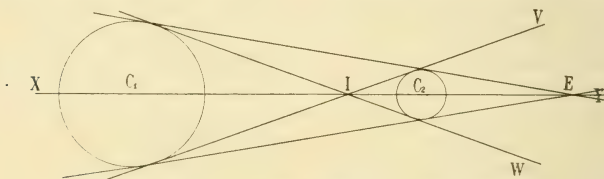


Fig. 87. Geometrische Konstruktion des Schattenkegels.

Finsternis beobachtet, der dunkle Körper verdeckt einen innern Teil der Scheibe des hellen. Was von dem unendlich großen Kegel VIW, der aus der Rotation der innern Tangenten IV und IW entstanden ist, nach Abzug des Kernschattenkegels und des Ringschattenkegels übrig bleibt, ist das Gebiet des Halbschattens; hier sieht man eine partiale Verfinsterung des hellen Körpers. Je näher man dem Kernschatten kommt, desto größer wird die partiale Verfinsterung. Die ganze Betrachtung ist von der sphärischen nicht wesentlich verschieden, sie ist deren stereometrische Deutung.

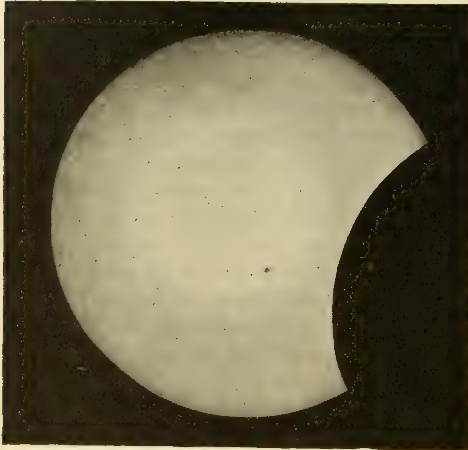
Die einzelnen Schattengebiete bestehen nur dann objektiv, wenn der Raum von einem durchstrahlbaren Mittel erfüllt ist. Das metallene Gerüst einer Laterne z. B. sendet seinen Schatten weit in den Raum hinaus; aber man sieht die Schattenräume nur bei nebligem Wetter. Wird die Grenzfläche eines dritten Körpers mit dem Kernschattenkegel der Fig. 87 zum Durchschnitt gebracht, so entsteht ein Schlagschatten, indem ein bestimmtes Oberflächenstück gar kein Licht empfängt.

[1] Wegen der Symmetrie braucht man nur einen Winkel von 180° zu beschreiben.

Sind die beiden Kugeln Sonne und Mond, so zeigt sich sofort, daß die Erde in der Nähe von E stehen muß, da man ja Mond und Sonne ungefähr in gleicher Größe erschaut. Natürlich kann unsere Figur die wahren Verhältnisse nicht wiedergeben, wo $EC_2 = 60\,r_2$ und $EC_2 : EC_1 = IC_2 : IC_1 = r_2 : r_1 = 1 : 390$ sein müßte. Man sieht aber trotzdem, welche räumliche Deutung wir der sphärischen Angabe erteilen müssen, daß uns der Mond bald größer bald kleiner als die Sonne erscheint. Wenn die Erde überhaupt von der Centrale Sonne-Mond getroffen wird, so schneidet ihre Tagseite bald den Kernschattenkegel und bald den Ringschattenkegel; schneidet sie nur das Halbschattengebiet, so hat man eine partiale Finsternis; eine solche muß aber auch die central verlaufenden Erscheinungen begleiten. Es zeigt sich ferner, daß das jeweilig vom Kern- oder Ringschatten bedeckte Oberflächengebiet der Erde sehr klein ist; man darf es als nahezu eben betrachten, und als schiefer ebener Kegelschnitt wird es dann elliptisch gestaltet sein. Für einen in E stehenden Beobachter verschiebt sich der Mond nach links, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die von seiner Lage zur augenblicklichen Apsidenlinie sowie von den Störungen abhängt. In Betracht für das Phänomen kommt natürlich nur seine Verschiebung gegen die Sonne, die etwas langsamer ist und aus der synodischen Geschwindigkeit gefunden werden kann. Jedenfalls zeigt sich's, daß der Schatten von Westen nach Osten über die Erde wegzieht. Und da sich diese während des Vorganges in derselben Richtung um ihre Achse dreht, wird das Fortschreiten etwas verlangsamt, d. h. für jeden einzelnen Ort wird das Schauspiel der Verfinsterung noch etwas in die Länge gezogen.

Wo der Mond central über die Sonne hinzieht, da bedarf er vom ersten bis zum zweiten äußern Kontakt mit der Sonnenscheibe offenbar einer Verschiebung etwa um das Doppelte seines Durchmessers, nämlich um $\rho + 2\rho + \rho$, wenn ρ der scheinbare Radius der Mondscheibe ist und die scheinbaren Größen der beiden Himmelslichter einander gleich gesetzt werden. Nun vollzieht sich der synodische Umlauf, d. h. eine Verschiebung um 360^0 gegen die Sonne, in rund 30^d, so daß in 2^h durchschnittlich 1^0 oder der doppelte Monddurchmesser abgemacht wird. Die Auseinanderziehung des Verlaufes durch die Erdrotation ist, von extremen Fällen abgesehen, nicht sehr groß; doch kommt, wie man leicht sieht, für die Gesamtdauer an einem einzelnen Orte ein größerer Betrag als 2^h heraus. Die Dauer der Totalität an einem einzelnen Orte beträgt höchstens 8^m; ein Mindestbetrag für sie kann nicht angegeben werden; es kann ja die Schattenspitze E gerade einen Punkt der Erdoberfläche streifen, so daß die Totalität nur einen Augenblick dauert; und es kann in Verbindung damit vorkommen, daß die centrale Finsternis für einen Teil der Erdoberfläche total und für einen andern ringförmig verläuft. — Die Ringform kann höchstens 12^m anhalten.

Von dem Verlaufe einer nur partialen Finsternis geben die beiden Bilder Fig. 88 eine Vorstellung, die nach photographischen Aufnahmen der Vatikanischen Sternwarte hergestellt sind. Die Figuren 89 und 90 geben, gleichfalls nach Photographien, das Bild einer totalen Verfinsterung. Man sieht hier den schwarzen Mond in aller Schärfe, von dem Sonnenkörper aber sieht man, nach dem Begriffe, den wir gewöhnlich mit diesem Worte verknüpfen, gar nichts. Denn dieser hat, wie man weiß einen scharfbegrenzten[1] Rand, und ein solcher ist an dem sonderbaren Lichtschimmer nicht zu bemerken, der den Mond umgiebt. Die Frage nach der Natur dieser bei totalen Verfinsterungen sichtbar werdenden Corona wird uns später beschäftigen.



a) 5h 2m 13s.



b) 5h 3m 34s.

Fig. 88. Partiale Sonnenfinsternis, beobachtet auf der Specola Vaticana. 1893, April 16. Maßstab: 2 mm = 1′ an der Sphäre.

Die große Achse des elliptischen Gebietes auf der Erde, das in einem bestimmten Augen-

[1] S. 313 ff. werden wir der Frage näher treten, ob diesem scharfbegrenzten Sonnenrande ein objektives Verhalten entspricht; für unser Auge besteht der Rand jedenfalls.

blicke totale Sonnenfinsternis hat, beträgt höchstens 26 myriom. Die ideale Landschaft Fig. 91 ist nun auch leicht verständlich. Man denkt sich einen Beobachter auf dem Monde; er hat Vollerde, während wir Neumond haben, also auch bei der Sonnenfinsternis. Die Erdscheibe prangt am tiefschwarzen Nachthimmel, ohne aber bei dem Mangel einer durchstrahlbaren Mondesluft den Glanz der Fixsterne auslöschen zu können (vgl. S. 113). Die Festländer der Erde erscheinen heller als die Meere, da sie das Sonnenlicht besser zurückwerfen. Die wilden Bergformen erklären sich aus der ge-

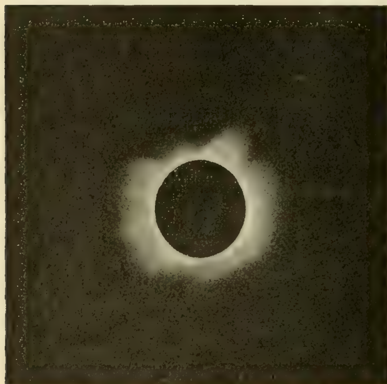


Fig. 89. Totale Sonnenfinsternis, beobachtet zu Schoolor in Hindostan.

ringen Schwere (S. 271), die tiefen Schatten in den Thälern wieder aus dem Luftmangel. Links auf der Erdscheibe, in Europa, sieht man ein schlecht begrenztes schwarzes Fleckchen: es ist der Schlagschatten des Mondes auf der Erde, an den sich der Halbschatten anschließt. Der lunare Beobachter würde dieses Fleckchen nach rechts aufwärts wandern sehen, und zwar viel schneller als die Erde rotiert. Von dem Halbschatten sieht er nur den dichtesten Teil, der den Kernschatten umrahmt. Das in den Kernschatten eingetauchte Oberflächenstück der Erde ist, wie vorhin erwähnt, elliptisch; für den lunaren

Beobachter wird es aber immer durch die Projektion ziemlich genau in einen Kreis verwandelt. — Genaueres über den Anblick der Erde vom Monde aus siehe im 25. Kapitel; vgl. auch Fig. 123.

* * *



a) 1896, August 9.



b) 1896, August 9.

Fig. 90. Totale Sonnenfinsternis, beobachtet auf Nowaja Semlja.

Wie eine Sonnenfinsternis nur bei Neumond eintreten kann, aber nicht immer einzutreten braucht, so ist für eine Mondfinsternis der Vollmond eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung. Stellt in Fig. 87 (S. 282) die um C_2 beschriebene Kugel die Erde vor, so gelten, wenn C_1 die alte Bedeutung hat, die vorhin für den Mondschatten gegebenen Definitionen nunmehr für den Erdschatten. Infolge des viel größern Erddurchmessers ist nun aber der Kernschattenkegel viel größer als vorhin, und der Mond wird, wenn sein Centrum durch die Centrale Erde-Sonne geht, für längere Zeit vollständig im Schattenkegel verborgen sein.

Die Größe des Querschnittes durch den Erdschatten in der Mondweite lehrt der Durchschnitt Fig. 92 erkennen. Sind $r_{\odot}$, $r_{\mathfrak{z}}$ und r_s der Reihe nach die linearen Werte der Radien der Sonne, des Mondes und des Querschnittes, $C_{\odot}$, $C_{\mathfrak{z}}$ und C_s deren Centra, ferner $d_{\odot}$ und $d_{☾}$ die Abstände der Sonne und des Mondes vom Centrum der Erde, so ergiebt die Ähnlichkeit der Dreiecke die Proportion

$$\frac{r_{\mathfrak{z}} - r_s}{d_{☾}} = \frac{r_{\odot} - r_{\mathfrak{z}}}{d_{\odot}}; \quad r_{\mathfrak{z}} - r_s = \frac{d_{☾}\,(r_{\odot} - r_{\mathfrak{z}})}{d_{\odot}}.$$



Fig. 91. **Irdische Sonnenfinsternis vom Monde aus gesehen.**

Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 285.

Sind Mond und Sonne in mittlern Abständen von der Erde, so ist $d_{☾} = 60{,}28\ r_{♁}$; $d_{\odot} = 23439\ r_{♁}$; $r_{☾} = 0{,}2726\ r_{♁}$; $r_{\odot} = 109{,}1\ r_{♁}$; also $r_{♁} - r_s = \frac{60{,}28 \cdot 108{,}1}{23439}\ r_{♁} = 0{,}278\ r_{♁}$; $r_s = 0{,}722\ r_{♁} = 2{,}65\ r_{☾}$.

Man kann sich also den Schattenquerschnitt der Erde, der für die Finsternis in Betracht kommt, als eine der Sonne gegenüberliegende Scheibe an der Sphäre vorstellen, deren Durchmesser in mittleren Verhältnissen 2,65 Monddurchmesser beträgt. Diese Scheibe hat der Mond zu durchwandern, und die Teile der Mondscheibe, die mit Teilen der Schattenscheibe zusammenfallen, sind verfinstert. Für die Gesamtdauer einer centralen Finsternis erhält man etwa $3^2/_3{}^h$, da vom ersten bis zum zweiten äußern Kontakte eine Verschiebung des Mondes um $\frac{1}{2} + 2{,}65 + \frac{1}{2} = 3{,}65$ seines Durchmessers stattfindet, wozu nach frühern Bemerkungen ungefähr ebenso viele Stunden gebraucht werden. Die Totalität reicht dagegen nur von der ersten bis zur zweiten innern Berührung, hält also nur $1^2/_3$ Stunden an, da sich der Mond nur um $-\frac{1}{2} + 2{,}65 - \frac{1}{2} = 1{,}65$ seines Durchmessers weiterbewegt.

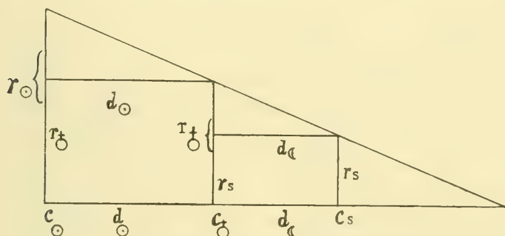


Fig. 92. Größe des Erdschattens bei Mondfinsternissen.

Soll der Mond in seiner Sonnenopposition, d. h. in seiner Konjunktion mit dem Erdschatten, den Schatten nur berühren und nicht schneiden, so reicht dazu eine geocentrische Abweichung des Mondes von der Ekliptik um 1,65 + 1 oder 2,65 scheinbare Mondradien bereits hin. Das sind $31',1 \times 2{,}65 = 82',4$ — natürlich im Durchschnitt, also abgesehen von der Veränderlichkeit der Größen $d_{\odot}$ und $d_{☾}$.

Man kann die Frage, unter welchen Umständen eine Verfinsterung eintreten kann oder muß, auch rein sphärisch und für Sonne und Mond gleichzeitig behandeln. Soll die Sonne geocentrisch, also für einen Beobachter im Centrum der Erde, partial verfinstert werden, so muß die Abweichung des Mondmittelpunktes von der Ekliptik, also seine Breite, im Augenblicke der Konjunktion kleiner als $\rho_{\odot} + \rho_{☾}$ sein, wo die Größen ρ die scheinbaren Radien der beiden Himmelslichter darstellen. Eine durch die Centra von Sonne, Mond und Erde gelegte Ebene schneidet nun aus der Erdkugel einen Hauptkreis, und auf diesem lassen sich zwei Punkte angeben, für die

der Mond um seine Horizontalparallaxe $p_{☾}$ und die Sonne in derselben Richtung um die entsprechende Größe $p_{\odot}$ verschoben ist; die Richtung ist offenbar die des Hauptkreises, worin die Centra liegen. Bestände die Mondparallaxe allein, so müßten die Centra von Sonne und Mond um das Bogenstück $\rho_{\odot} + \rho_{☾} + p_{☾}$ auseinanderstehen, um für jeden von diesen beiden Punkten eine Finsternis zu vereiteln. Da die kleinere Sonnenparallaxe in derselben Richtung wie die des Mondes wirkt, hat man diese um jene zu vermindern und erhält so das Ergebnis, daß, wenn $\beta_{☾}$ die geocentrische Breite des Mondes im Augenblicke der Konjunktion in Länge ist,

$$\beta_{☾} < \rho_{\odot} + \rho_{☾} - p_{\odot} + p_{☾}$$

sein muß, wenn für die Erde überhaupt, ganz abgesehen vom Orte, eine Bedeckung der Sonne durch den Mond stattfinden soll. Alle Größen auf der rechten Seite sind veränderlich, und wenn man auf ihre Maxima und Minima Rücksicht nimmt, so ergiebt sich, daß für $\beta_{☾} < 84',2$ jedenfalls eine Sonnenfinsternis eintreten muß, daß sie aber für $\beta_{☾} > 94',4$ nicht mehr eintreten kann.

Versetzt man den Beobachter auf den Mond, so kann man die ☾-Finsternisbedingung aus der obigen ableiten. Den Sonnenradius und die Sonnenparallaxe kann man, da sie nur um ihren 390. Teil vermindert werden, innerhalb der Genauigkeitsgrenzen unserer Betrachtung einfach mit den geocentrischen Größen verwechseln. Für $\rho_{☾}$ hat man $\rho_{♁}$ zu setzen, d. h. den scheinbaren Erdradius für einen Beobachter auf dem Monde[1], also die Mondparallaxe $p_{☾}$, für $p_{☾}$ setzt man $p_{♁}$, d. h. den Winkel, unter dem einem geocentrischen Beobachter der Mondradius erscheint, also $\rho_{☾}$. Endlich ist für $\beta_{☾}$ zwar $\beta_{♁}$ zu setzen, doch sind die Größen einander gleich, da offenbar die Erde selenocentrisch[2] genau um denselben Winkel von der Ebene der Ekliptik abweicht wie der Mond geocentrisch. Man erhält also wieder, wenn sich die Breite auf den Vollmond bezieht,

$$\beta_{☾} < \rho_{\odot} + \rho_{☾} - p_{\odot} + p_{☾}$$

als Bedingung für den Eintritt einer Bedeckung der Sonne durch die Erde für die Mondoberfläche überhaupt. Solche Bedeckungen sind daher, weil die Mondbreite ebenso oft beim Vollmonde als beim Neumonde unter die angegebene Grenze herabsinken kann, im ganzen genau ebenso häufig wie die Bedeckungen der Sonne durch den Mond für die Erdoberfläche im ganzen, d. h. eben wie die Sonnenfinsternisse. Nicht aber können ebenso häufig Mondfinsternisse für uns, die Bewohner der Erde eintreten. Denn jene Bedingungen beziehen sich auf die Bedeckung im allgemeinen, d. h. auf den

[1] Genauer für einen selenocentrischen, d. h. im Centrum des Mondes (σελήνη) stehenden Beobachter.

[2] In der vorigen Anmerkung ist das Wort erklärt.

Eintritt in den Schatten überhaupt. Soll uns dagegen ein Teil der Mondoberfläche unsichtbar werden, so muß er im Kernschatten der Erde sein oder mindestens in dem Teile des Halbschattens, der dem Kernschatten so nahe ist, daß die geringe ihm zukommende Lichtmenge nach ihrer Zurückwerfung durch die Mondoberfläche für uns nicht mehr in Betracht kommt. Man rechnet nun bloß mit der Kernschattenscheibe, vergrößert jedoch auf Grund vielfacher Erfahrung ihren Radius um seinen 50.—60. Teil, wodurch das erwähnte Halbschattengebiet berücksichtigt wird [1]. Aber auch so ist die Mondfinsternis ein selteneres Ereignis als die Sonnenfinsternis.

Wir haben vorhin den Durchmesser der Schattenscheibe, ohne Rücksicht auf die empirische Vergrößerung um ihren 60. Teil, auf 82′,4 berechnet; ihr Radius ρ_s ist also $= 41'{,}2$; ihr Centrum steht in der Ekliptik, dem Sonnenorte gegenüber. Als Bedingung für den Eintritt des Mondes in den Kernschatten der Erde ergiebt sich, daß

$$\beta_{☾} < \rho_s + \rho_{☾}$$

sein muß, also kleiner als 56′,8, da $\rho_{☾}$ im Mittel $= 15'{,}6$ ist. Die Schwankungen der zu Grunde liegenden Größen bewirken dann, daß für $\beta = 52'{,}5$ beim Vollmonde eine partiale Mondfinsternis eintreten muß, daß sie aber für $\beta = 62'{,}6$ nicht mehr eintreten kann.

Diese Bedingung und die vorhin für die Sonnenfinsternis angegebene kann man auch noch anders ausdrücken. Betrachtet man in einem Falle das sphärische Dreieck zwischen dem Mondmittelpunkte, dem Centrum der Schattenscheibe und dem Knoten, dem der Mond nahe ist, das andere Mal zwischen diesem Knoten und den Centren der Sonne und des Mondes, so zeigt eine einfache Rechnung, daß eine Mondfinsternis eintreten muß, wenn der Mond um 9°,5 vom nächsten Knoten entfernt ist, und daß sie bei einer Entfernung von 12°,1 nicht mehr eintreten kann. Die Verbesserung von ρ_s um $^1/_{60}$ seines Wertes ist hier nicht angebracht, weil eine Mondfinsternis, wo der Kernschatten gar nicht berührt wird, zu geringfügig ist. Für die Sonnenfinsternis erhält man als Entfernungen des Mondes vom nächsten Knoten 15°,4 für den notwendigen und 18°,4 für den eben noch möglichen Eintritt.

Obgleich nun für die Erde im ganzen öfter Sonnenfinsternisse eintreten als Mondfinsternisse, sind diese doch wieder die häufigeren für einen einzelnen Beobachtungsort. Denn eine Mondfinsternis als objektive Erscheinung, nämlich als wirkliches Eintauchen des Mondes in den Kernschattenkegel der Erde, ist überall dort sichtbar, wo man den Mond überhaupt sieht, d. h. nahezu auf der halben Erdoberfläche oder der ganzen Nachtseite. Eine Sonnenfinsternis aber ist eine subjektive Erscheinung, nämlich das Eintauchen

[1] Nach Seeliger liegen für die Vergrößerung in erster Linie optisch-physiologische Ursachen vor.

des Beobachtungsortes in den Halbschatten, unter günstigen Umständen in den Kernschatten des Mondes. Beides betrifft nur kleine Gebiete der Erdoberfläche.

Man beachte wohl, daß die besprochene Schattenscheibe der Erde nur für den Mond Bedeutung hat und sich sonst auf keine Weise bemerkbar macht. Die Spitze E des Kernschattens (Fig. 87, S. 282) ist nur 3- bis 4mal so weit von uns entfernt als der Mond; was darüber hinaus liegt, z. B. Jupiter in seiner Sonnenopposition, das gerät höchstens in den Ringschatten, d. h. ein mit guten Instrumenten bewaffneter Beobachter auf dem Jupiter könnte bei geringem Abstande seines Planeten von der Ekliptik unsere Erde vor der Sonne herziehen sehen, so wie wir unter ähnlichen Verhältnissen die Venus; aber ein wahrnehmbarer Schlagschatten entsteht nicht. So ist auch der ganze Schattenkegel nur ein Erzeugnis unserer Vorstellung. Er selbst verdeckt nichts; aber was in ihn hineingerät, wird beschattet. So ist denn auch am Himmel nicht der Erdschatten sichtbar, sondern nur der von ihm getroffene Mond. Für den mitteleuropäischen Beobachter geht der Mond in seinem Laufe um die Erde nach links weiter, und zwar, je nach seiner Stellung zum Horizonte, mehr nach links oben oder unten. Demzufolge bildet sich nach dem ersten äußern Kontakt oder dem Beginne der Finsternis am linken Mondrande ein schwarzer Fleck, der sich dann nach rechts auszubreiten scheint und beim ersten innern Kontakte oder dem Beginne der Totalität die ganze Scheibe verdeckt. Später wiederholen sich die Erscheinungen in umgekehrter Reihenfolge. In jedem Momente der partialen Finsternis sieht man einen Teil vom Umrisse der Schattenscheibe auf dem Monde. Der Radius dieser Scheibe bleibt derselbe, nämlich 2,65 vom Mondradius, und hierdurch unterscheidet sich die Gestalt des hell gebliebenen Stückes wesentlich von der sonst durch die Phase hervorgerufenen Sichel- oder Hörnergestalt. Über den aus der Gestalt der Schattengrenze hergenommenen Beweis für die Kugelgestalt der Erde vgl. S. 54; über die Sichtbarkeit des Schattens in der Luft s. S. 91—92.

Die in den Kernschatten der Erde eingetauchten Teile der Mondoberfläche verschwinden in den meisten Fällen nicht vollständig für unser Auge, bleiben vielmehr in düsterroter Färbung sichtbar. Um den Grund für diese Erscheinung einzusehen, denken wir uns der Einfachheit wegen den Moment einer centralen und totalen Mondfinsternis, wo also die Centra der drei Himmelskörper in gerader Linie liegen. Wir legen durch das Centrum der Erde eine Ebene, die mit dieser Linie einen Winkel von $0^0\ 28',5$ macht, so daß die Sonne südlich von der Ebene steht. Parallel zu dieser Ebene legen wir an die nördliche Erdhälfte eine Berührungsebene; sie ist die scheinbare Horizontalebene des Berührungspunktes, und für diesen steht also das Centrum der Sonne in der Höhe von $-\ 0^0\ 28',5$, wenn man die sehr geringe Parallaxe (9″) vernachlässigt. Der der Sonne gegenüberstehende Mond hat für denselben Ort die Höhe von $+\ 0^0\ 28',5$, die jedoch durch die Parallaxe

auf 0° 28′,5 — 0° 57′ = — 0° 28′,5 herabgedrückt wird. Nun erhöht die Refraktion beide Gestirne um 0° 35′, also auf + 0° 6′,5, so daß beide Himmelslichter zum größten Teile sichtbar sind. Man kann die vorhin erwähnte Ebene so um die Centrale Sonne-Erde-Mond drehen, daß der Winkel von 0° 28′,5 konstant bleibt, und erhält dann einen ganzen Kreis auf der Erdoberfläche, nahezu einen Hauptkreis, dessen Anwohner Sonne und Mond gleichzeitig zum größten Teil über dem Horizonte haben, wobei der eine Himmelskörper auf- und der andere untergeht. Ähnliche Bedingungen herrschen in einer ziemlich breiten Zone, deren Bewohner Teile von beiden Himmelslichtern auf einmal sehen. Ist der Vollmond nicht genau im Knoten, sondern etwas nördlich oder südlich davon, so kann man einen Teil dieser Zone bezeichnen, wo man besonders große Teile der Scheiben auf einmal sieht.

Bewirkt nun die Lichtbrechung in der Erdatmosphäre, daß die beiden Himmelskörper um je 0° 35′ gehoben und gleichzeitig sichtbar werden, dann muß sie auch bewirken, daß ein Teil des Sonnenlichtes zum verfinsterten Monde hin gebrochen wird. Der in die Atmosphäre eintretende Sonnenstrahl wird der Vertikalen genähert, und zwar um 0° 35′, wenn seine ursprüngliche Richtung beinahe horizontal ist; der austretende wird unter derselben Bedingung um 0° 35′ von der Vertikalen entfernt. Die Sonnenstrahlen also, welche den Kreis treffen, dessen Anwohner beide Himmelskörper im Horizonte sehen, und zwar den einen im Aufgange und den andern im Untergange, werden im ganzen um weit mehr als einen vollen Grad von ihrem Wege abgelenkt. Ohne Ablenkung würden diese Strahlen die Mantellinien des Kernschattenkegels sein; durch die Ablenkung wurden sie in diesen hinein gebrochen. Und da der sphärische Radius der Schattenscheibe nur 0° 41′,2 beträgt, dringen Sonnenstrahlen bis zu ihrem Centrum, d. h. bis zu dem der Mondscheibe selbst in centraler Verfinsterung. Nun werden in den dichten unteren Lagen der Atmosphäre hauptsächlich die brechbareren Bestandteile des Sonnenlichtes absorbiert, so daß es hierdurch bei starker Schwächung einen rötlichen Ton erhält. So erklärt sich der düsterrote Farbenton des total verfinsterten Mondes. Auch die Teile der durchstrahlten Atmosphäre selbst werden dem Monde Sonnenlicht zuwerfen; ein Beobachter auf dem Monde, für den die kleine Sonnenscheibe hinter die viel größere Erdscheibe getreten[1]

[1] Auf dem Monde dauert die tägliche Bewegung des Himmels 27 1/3 unserer Sonnentage, übereinstimmend mit seiner Rotation. Sein Sonnentag ist aber gleich 29 1/2^d, übereinstimmend mit dem synodischen Monate. Jedesmal beim Vollmonde kulminiert die Sonne für die Mitte der uns zugewandten Kugel. Da aber für diese Gegend die Erde unverrückt im Zenith steht und für die andern Gegenden ähnliche Erwägungen gelten, so macht für den Mondbürger die Erde die tägliche Bewegung überhaupt nicht mit, abgesehen von der Libration, die ein Schwanken um wenige Grade bewirkt. Für den (erdichteten) Mondbürger geht also die Sonne hinter der Erde her, nicht die Erde vor der Sonne.

ist, sieht diese von einem hellen Saume umgeben, ähnlich wie wir die am Rande durchstrahlten Cumuluswolken, aber mit rötlicher Färbung — alles freilich unter der Bedingung, daß auf dem Grenzkreise der irdischen Tag- und Nachtseite die Luft hinreichend durchsichtig ist. Trübungen an einzelnen Stellen werden sich als Unterbrechungen des rosigen Lichtkranzes darstellen; und wenn sie zu große Teile wegnehmen, erhält der Mond so wenig Licht, daß er wirklich verschwindet. Solche Mondfinsternisse sind z. B.[1] 1601, Dezember 9. und 1620, Juni 15. von Kepler, 1642, April 25. von Hevelius und 1816, Juni 10. in London beobachtet worden. Wir selbst haben es öfter erlebt, daß die Mondscheibe für den Unkundigen völlig verschwand; wer aber ihren Ort an der Sphäre etwas genauer kannte, wußte sie auch zu finden. Bei Keplers erster Beobachtung, die vor der Erfindung des Fernrohres gemacht wurde, ist vielleicht seine Sehschwäche mit im Spiel gewesen. Es scheint, daß die Mondscheibe selten völlig verschwindet.

Der Vollmond durchstrahlt die Luft so sehr, daß schwächere Sterne, namentlich in seiner Nähe, für das freie Auge verschwinden. Bei fortschreitender Verfinsterung tauchen sie allmählich wieder auf, und so ist eine totale Mondfinsternis bei gutem Wetter oft eine willkommene Unterbrechung des störenden Mondlichtes, unter dessen Aufdringlichkeit viele anderweitige Beobachtungen manchmal mehr als eine Woche lang zu leiden haben.

Bei partialen Sonnenfinsternissen ist von einer Abnahme der Tageshelle meistens kaum etwas zu spüren. Selbst wenn sich die Sonnenscheibe auf ihren zehnten Teil vermindert, scheint es, als sei die Bestrahlung des Bodens und überhaupt der irdischen Gegenstände unverändert. Thatsächlich hat sie sich in demselben Maße wie die strahlende Scheibe vermindert, was uns aber infolge der Einrichtung unseres Empfindungsvermögens[2] nicht zum Bewußtsein kommt. Totale Verfinsterung der Sonne ruft auf den davon betroffenen Gebieten den Eindruck tiefer Dämmerung hervor, auch bei den Tieren, die vielfacher Beobachtung zufolge bei etwas länger dauernder Totalität ihre Schlafstätten aufsuchen. Der Helligkeit der Corona und auch wohl der Durchstrahlung der Atmosphäre in den außerhalb des Kernschattens liegenden Gebieten ist es zuzuschreiben, daß nicht völlige Finsternis eintritt.

Wenn die Sonne durch eine Öffnung auf einen Schirm scheint und der Arcuswert ihres scheinbaren Durchmessers erheblich größer ist als das Verhältnis der größten Weite der Öffnung zu deren Abstand vom Schirme, so zeigt sich bekanntlich kein Bild der Öffnung selbst, sondern ein rundes Sonnenbild, auch wenn die Öffnung rechteckig oder unregelmäßig gestaltet ist; so im Walde, wo das Laub des Unterholzes deutliche Schatten wirft, aber die Blattlücken der hohen Baumkronen zahlreiche ähnliche und gleich-

[1] Nach Epstein. [2] Näheres darüber in Kap. 35.

liegende elliptische[1] Sonnenbilder auf den Boden streuen. Ist die Sonne halbverfinstert, so werden die Bilder halbmondähnlich.

* * *

Mehrfach ist erwähnt worden, daß das Eintreten der Finsternisse an eine Periode von 6585^d geknüpft ist. Wie genau diese Sarosperiode eingehalten wird, das soll uns die nachfolgende auf mittlere Berliner Zeit bezogene Tafel lehren, die außerdem zu mehreren Erklärungen Anlaß giebt.

Finsternisse für die Zeit von 1865 bis 1900.

1. Sarosperiode.							2. Sarosperiode.						
1865.							**1883.**						
April	10.	17^h	32^m	☾	2,3	vA	April	22.	0^h	32^m	☾	1,1	vA
„	25.	2	50	⊙	T	nN	Mai	6.	10	39	⊙	T	nN
Okt.	4.	11	34	☾	4,1	vN	Okt.	15.	19	48	☾	3,4	vN
„	19.	4	57	⊙	T	nA	„	30.	12	30	⊙	R	nA
1866.							**1884.**						
März	16.	10^h	45^m	⊙	2,7	vN	März	26.	18^h	56^m	⊙	1,8	vN
„	30.	17	27	☾	T	vA	April	10.	0	40	☾	T	vA
April	14.	19	45	⊙	8,0	nN	„	25.	3	40	⊙	6,0	nN
Sept.	24.	3	1	☾	T	vN	Okt.	4.	10	56	☾	T	vN
Okt.	8.	5	41	⊙	6,6	nA	„	18.	13	11	⊙	3,3	nA
1867.							**1885.**						
März	5.	23^h	7^m	⊙	R	vN	März	16.	7^h	8	⊙	R	vN
„	19.	21	42	☾	9,7	nA	„	30.	5	28	☾	10,6	nA
Aug.	29.	2	30	⊙	T	vA	Sept.	8.	10	14	⊙	T	vA
Sept.	13.	13	20	☾	8,4	nN	„	23.	20	42	☾	9,4	nN
1868.							**1886.**						
Febr.	23.	3^h	18^m	⊙	R	vN	März	5.	11^h	3^m	⊙	R	vN
Aug.	17.	18	7	⊙	R	vA	Aug.	29.	1	52	⊙	T	vA
1869.							**1887.**						
Jan.	27.	14^h	32^m	☾	5,4	vA	Febr.	7.	23^h	16^m	☾	5,2	vA
Febr.	11.	2	22	⊙	R	nN	„	22.	10	7	⊙	R	nN
Juli	23.	2	56	☾	6,8	vN	Aug.	3.	9	42	☾	5,1	vN
Aug.	7.	10	39	⊙	T	nA	„	18.	18	9	⊙	T	nA

[1] Elliptisch durch die Projektion. Das Verhältnis der kleinen zur großen Achse ist gleich dem Kosinus der Zenithdistanz der Sonne.

1. Sarosperiode.

1870.

Jan.	17.	3ʰ 40ᵐ	☾	T	vA
„	31.	4 20	⊙	5,8	nN
Juni	28.	12 41	⊙	7,7	vA
Juli	12.	11 28	☾	T	nN
„	27.	23 55	⊙	1,0	nA*
Dez.	22.	1 13	⊙	T	vN

1871.

Jan.	6.	10ʰ 10ᵐ	☾	8,3	nA
Juni	17.	15 22	⊙	R	vA
Juli	2.	2 21	☾	4,2	nN
Dez.	11.	16 54	⊙	T	vN

1872.

Mai	22.	12ʰ 12ᵐ	☾	1,4	vN*
Juni	5.	16 21	⊙	R	nA
Nov.	14.	18 13	☾	0,3	vA
„	30.	7 37	⊙	T	nN

1873.

Mai	12.	0ʰ 13ᵐ	☾	T	vN
„	25.	22 1	⊙		nA
Nov.	4.	4 10	☾	T	vA
„	19.	16 16	⊙		nN

1874.

April	16.	2ʰ 11ᵐ	⊙	T	vA
Mai	1.	4 57	☾		nN
Okt.	10.	0 6	⊙	R	vN
„	24.	20 10	☾	T	nA

1875.

April	5.	19ʰ 24ᵐ	⊙	T	vA
Sept.	29.	1 36	⊙	R	vN

1876.

März	9.	19ʰ 15ᵐ	☾	3,6	vN
„	25.	9 36	⊙	R	nA
Sept.	3.	10 16	☾	4,1	vA
„	17.	11 13	⊙	T	nN

2. Sarosperiode.

1888.

Jan.	28.	12ʰ 14ᵐ	☾	T	vA
Febr.	11.	12 32	⊙	5,9	nN
Juli	8.	19 25	⊙	5,9	vA
„	22.	18 38	☾	T	nN
Aug.	7.	7 0	⊙	2,4	nA

1889.

Jan.	1.	10ʰ 10ᵐ	⊙	T	vN
„	16.	18 23	☾	8,4	nA
Juni	27.	20 51	⊙	R	vA
Juli	12.	9 48	☾	5,8	nN
Dez.	22.	1 46	⊙	T	vN

1890.

Juni	2.	19ʰ 28ᵐ	Vollmond ohne Finsternis.		
„	16.	22 52	⊙	R	nA
Nov.	26.	2 28	☾	0,07	vA*
Dez.	11.	16 9	⊙	TR	nN

1891.

Mai	23.	7ʰ 23ᵐ	☾	T	vN
Juni	6.	5 32	⊙	R	nA
Nov.	15.	13 12	☾	T	vA
Dez.	1.	0 25	⊙	5,1	nN

1892.

April	26.	10ʰ 7ᵐ	⊙	T	vA
Mai	11.	11 47	☾	11,5	nN
Okt.	20.	7 30	⊙	10,5	vN
Nov.	4.	4 39	☾	T	nA

1893.

April	16.	3ʰ 21ᵐ	⊙	T	vA
Okt.	9.	9 6	⊙	R	vN

1894.

März	21.	3ʰ 14ᵐ	☾	3,0	vN
April	5.	17 21	⊙	R	nA
Sept.	14.	17 25	☾	2,7	vA
Sept.	28.	19 0	⊙	T	nN

1. Sarosperiode.

1877.

← Neumond Febr. 12. ohne Finsternis*

Febr.	27.	8^{h}	9^{m}	☾	T	vN
März	14.	15	31	⊙		nA
Aug.	8.	18	24	⊙		vN
„	23.	12	5	☾	T	nA
Sept.	7.	1	42	⊙		nN

1878.

Febr.	1.	20^{h}	37^{m}	⊙	R	vA
„	17.	0	4	☾	10,0	nN
Juli	29.	10	16	⊙	T	vN
Aug.	12.	13	2	☾	7,1	nA

1879.

Jan.	22.	0^{h}	40^{m}	⊙	R	vA
Juli	18.	22	3	⊙	R	nN
Dez.	28.	5	20	☾	2,0	nN

1880.

Jan.	11.	11^{h}	42^{m}	⊙	T	nA
Juni	22.	2	44	☾	T	vA
Juli	7.	2	28	⊙	R	nN
Dez.	1.	16	5	⊙		vA
„	16.	4	32	☾	T	vN
„	31.	2	38	⊙		nA

1881.

Mai	27.	12^{h}	42^{m}	⊙		vN
Juni	11.	19	47	☾	T	nA
Nov.	21.	5	36	⊙	R	vA
Dez.	5.	6	2	☾	11,7	nN

1882.

Mai	16.	20^{h}	35^{m}	⊙	T	vN
Nov.	10.	12	20	⊙	R	vA

2. Sarosperiode.

1895.

Neumond Febr. 24. ohne Finsternis

März	10.	16^{h}	33^{m}	☾	T	vN
„	25.	23	3	⊙	4,3	nA
Aug.	20.	2	3	⊙	3,3	vN
Sept.	3.	18	51	☾	T	nA
„	18.	9	37	⊙	8,9	nN

1896.

Febr.	13.	5^{h}	17^{m}	⊙	R	vA
„	28.	8	39	☾	9,5	nN
Aug.	8.	17	31	⊙	T	vN
„	22.	19	51	☾	8,9	nA

1897.

Febr.	1.	9^{h}	0^{m}	⊙	R	vA
Juli	29.	4	53	⊙	R	nN

1898.

Jan.	7.	13^{h}	28^{m}	☾	1,9	vN
„	21.	20	31	⊙	T	nA
Juli	3.	10	11	☾	11,2	vA
„	18.	9	0	⊙	R	nN
Dez.	13.	0	52	⊙	3,5	vA
„	27.	12	36	☾	T	vN

1899.

Jan.	11.	11^{h}	32^{m}	⊙	8,6	nA
Juni	7.	19	27	⊙	7,3	vN
„	23.	3	12	☾	T	nA
Dez.	2.	13	55	⊙	R	vA
„	16.	14	19	☾	12,0	nN[1]

1900.

Mai	28.	3^{h}	51^{m}	⊙	T	vN
Juni	12.	16	21	☾	0,0	nA[2]
Nov.	21.	20	16	⊙	R	vA

Die erste Finsternis des Jahres 1869 z. B. trat nach der vorstehenden Tafel Januar 27. 14^{h} 32^{m} M. Z. Berlin ein, oder vielmehr, sie hatte

[1] Größe der Finst. 0,998 des Monddurchmessers.

[2] Größe der Finst. 0,001 des Monddurchmessers.

damals ihre größte Phase erreicht; es war eine partiale Mondfinsternis; die Angabe 5,4 sagt uns, daß 5,4 Zoll, d. h. 5,4 Zwölftel des Monddurchmessers vom Schatten bedeckt waren. Wir haben diese anschauliche ältere Angabe beibehalten, obwohl die Berechnung jetzt gewöhnlich rein decimal ausgeführt wird. Der Mond befand sich etwas „v A“, d. h. vor dem aufsteigenden Knoten, also südlich der Ekliptik. Da das Centrum der Schattenscheibe genau in der Ekliptik stand, so war der nördliche Teil der Mondscheibe verfinstert, und der südliche blieb hell. Die kurze Angabe der Tafel läßt auch noch erkennen, daß die Finsternis in Berlin sichtbar war; denn eine Mondfinsternis wird, wie vorhin gezeigt worden, auf der ganzen Nachtseite der Erde gesehen; und daß Berlin — und ebenso ganz Mitteleuropa — damals Nacht hatte, lehrt die Angabe 14^h 32^m.

Geht man nun 223 Lunationen oder synodische Monate weiter, so sind das (vgl. S. 110) im ganzen 6585^d, 3238 = 6585^d 7^h 46^m. Es sind $365^d \times 18 = 6570^d$, und da die 4 Jahre 1872, 1876, 1880, 1884 Schaltjahre waren, so ist 1869, Januar 27 + 6574^d = 1887, Januar 27.; 1869, Januar 27. $14^h\,32^m + 6585^d\,7^h\,46^m$ = 1887, Februar 7. 22^h 18^m. Es trat also hier wieder Vollmond ein; den Unterschied gegen 23^h 16^m dürfen wir den Ungleichheiten und Störungen zuschreiben; die benutzte Lunationsperiode ist ja ein Mittelwert.

Inzwischen war auch der Mond dem aufsteigenden Knoten wieder nahe, da 241 Drachenmonate gleich 6585^d, 3524 sind. Da dieser Zeitraum aber größer ist als der von 6585^d, 3238, so war der Mond, als er wieder in vollem Lichte erglänzte, noch nicht wieder in der alten Lage zum Knoten; und da die ersterwähnte Finsternis vor dem Knotendurchgange eintrat, so fand die des Jahres 1887 noch einen größern Zeitabschnitt vor dem Durchgange statt. Je weiter vom Knoten, desto schwächer die Verfinsterung. So darf es uns nicht wundern, daß die zweite Finsternis nur mehr 5,2 Zoll betrug. Ist überhaupt eine Finsternis vor dem Knotendurchgange eingetreten, so folgt nach einer Sarosperiode eine schwächere Finsternis derselben Art. Das gilt offenbar auch für Sonnenfinsternisse und bei beiden Erscheinungen auch für den niedersteigenden Knoten, den wir in der Tafel durch N bezeichnet haben. Die zahlreichen Beispiele wird der Leser selbst herausfinden. Ist die letzte Finsternis an sich schon schwach gewesen, z. B. 1872, Mai 22., so fällt die folgende ganz aus, weil der Mond vom Knoten schon zu weit absteht. So hat, wie das * bei 1877 andeutet, vor einer Sarosperiode noch eine Sonnenfinsternis stattgefunden, und zwar 1859, Februar 2. 14^h 16^m mit nur 0,8 Zoll, also schon recht weit vom Knoten nach rechts entfernt; die folgenden mußten ausfallen; sie werden nach einer größern Periode wiederkehren.

Dieselbe Erwägung lehrt uns dann, daß eine Finsternis, die etwas nach einem Knotendurchgange stattgefunden hat, nach einer Sarosperiode

in größerem Umfange wiederkehrt, und zwar gleichmäßig für Mond und Sonne, für den auf- und den niedersteigenden Knoten; die Tafel, wo diese Erscheinungen durch n A und n N angedeutet sind, bietet wieder zahlreiche Beispiele. Eine solche Finsternis wird nach einigen Sarosperioden dem Knoten so nahe als möglich sein und ihren größten Betrag erreichen; sie wird dann schwächer, indem sie sich vom Knoten nach rechts entfernt.

Mit T und R sind die totalen und ringförmigen Finsternisse bezeichnet. Im allgemeinen wechselt die Totalität bei der Sonne nicht mit der Ringform ab. Es ist nämlich (vgl. wieder S. 110) die Sarosperiode auch nahezu gleich einer vollen Anzahl von anomalistischen Monaten, d. h. von Durchgängen des Mondes durch das Perigäum; hierdurch wird ja gerade auch die Wiederkehr der Finsternisse verbürgt, da andernfalls die wechselnde Laufgeschwindigkeit nach dem zweiten Keplerschen Gesetze in Betracht käme. Da der anomalistische Monat die Entfernung des Mondes und damit seine scheinbare Größe bestimmt, die wieder über Totalität und Ringform entscheidet, so bleibt im allgemeinen entweder die Ringform oder die Totalität erhalten, bis die Erscheinung überhaupt partial wird. Interessant sind die letzten Finsternisse von 1872 und 1890. Nach Ablauf der Sarosperiode war die Erde dem Perihel (das Januar 1. stattfindet) etwas näher gerückt. Es war also die Sonnenscheibe größer geworden; die Schattenspitze hatte sich zurückgezogen, und ein Teil der Erdoberfläche kam in den Ringschatten, darauf ein größerer in den Kernschatten, zuletzt wieder ein kleiner in den Ringschatten. Die Übergangspunkte, die also nur einen Augenblick totale Finsternis hatten, lagen im Himalaja und in den Alëuten.

Es mag hierbei bemerkt werden, daß für die Sonnenfinsternisse der Verlauf für eine bestimmte Gegend aus den rohen Angaben der Tafel nicht entnommen werden kann. Die angegebenen Zeiten und Zollgrößen gelten für den Ort, der die größte Phase erlebt, es sind dann aber Berliner mittlere Zeiten angegeben wie beim Monde. Immerhin kann man z. B. der Zeitangabe entnehmen, daß die Sonnenfinsternis 1888, Februar 11. in Deutschland unsichtbar gewesen sein muß, weil die größte Phase um Mitternacht eintrat. Daß aber von den Finsternissen 1887, August 18. und 1896, August 8. in Berlin die eine total, die zweite nur partial verlief, läßt sich nicht ersehen; und es kann auch eine Sonnenfinsternis für uns unsichtbar sein, obgleich sie in den hellen Tag fällt; wenn wir uns nämlich außerhalb des Halbschattengebietes befinden.

Im übrigen kann man mit der Tafel leicht einige Perioden vor- und rückwärts rechnen. Die Schaltjahre sind natürlich zu berücksichtigen; man kann auch nach der julianischen Periode (Tafeln S. 128, 131) rechnen. Zu bedenken ist noch das Gesetz der Zu- und Abnahme; so bedeutet das * bei 1870, Juli 27., daß eine Periode früher noch keine Finsternis eintrat, und

das bei 1890, November 26., daß nach einem Saroscyklus der Mond nicht mehr verfinstert wird, da schon jetzt die Phase äußerst gering ist. — Der Übergang zu einer andern Jahreszahl, wie von 1870, Dezember 22. zu 1889, statt 1888, ist ohne weiteres verständlich.

Daß die Finsternisse gewöhnlich paarweise, manchmal auch zu dreien auftreten, deuten die Klammern an. Es findet seine Erklärung darin, daß der halbe synodische Monat den halben drakonitischen nur um $1^d,16$ übertrifft. Es fand z. B. 1896, Februar 13. eine Sonnenfinsternis kurz vor dem Durchgange durch den aufsteigenden Knoten statt; nach[1] $15^d\ 3^h$ war Vollmond, und der niedersteigende Knoten war überschritten, aber nicht so viel, daß der Mond nicht mehr hätte verfinstert werden können. — Von drei zusammenstehenden Finsternissen, z. B. denen im Dezember 1880, sind natürlich die beiden äußern gleichartig und von der mittlern verschieden. Diese mittlere wird fast immer total oder ringförmig sein, da sie offenbar sehr nahe beim Knoten stattfinden muß.

Für die Geschichtsforschung sind die Finsternisse von großer Wichtigkeit, da ihre sorgfältige Aufzeichnung, z. B. bei Thucydides und Xenophon, die Bestimmung der Zeitpunkte bedeutender Vorgänge ermöglicht.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Die Sonne. — Weitere Sätze über das Licht. — Spektroskopie und Spektrographie.

Die gewaltig große Entfernung der Sonnenkugel hat uns schon mehrfach beschäftigt. Ihr Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit ergab sich (vgl. das 16. Kapitel) aus den Verspätungen im Eintreffen der Finsternisse der Nebenplaneten sowie in den Rotationen der Hauptplaneten. Die als Aberration beschriebene Erscheinung (vgl. dasselbe Kapitel) liefert uns für dieses Verhältnis einen übereinstimmenden Wert; und die physikalischen Bestimmungen der Lichtgeschwindigkeit gestatten dann den Schluß auf das Verhältnis des Sonnenabstandes zu unserer Maßeinheit, dem Meter.

Scheut man sich aber, die Richtigkeit dieses Schlusses ohne weiteres anzuerkennen, wendet man ein, daß das Licht im Weltraum vielleicht mit ganz anderer Geschwindigkeit gehe als im Laboratorium des Naturforschers, so hat die Astronomie noch andere Mittel, den Zweifler zum Glauben zu

---

[1] Der Zeitraum ist merklich größer als der Mittelwert $\frac{1}{2} \cdot 29^d,5306 = 14^d,7653$, und zwar weil die Erde dem Perihel nahe ist und die Sonne darum schneller vorzulaufen scheint als im Durchschnitte. Die Finsternisse aus dem August 1896 zeigen aus dem umgekehrten Grunde eine geringere Zeitdifferenz.

zwingen. Die Mondgleichung der Erde, die sich (vgl. S. 229—230) in dem kleinen Monatsepicykel der Sonne ausspricht, giebt uns das Verhältnis des Sonnenabstandes zum Abstande des Mondes; dieser aber läßt sich auf den Erdradius zurückführen und der Erdradius auf das Meter. Man kommt, von unerheblichen Abweichungen zu schweigen, auf dieselben Zahlen wie bei der andern Methode. Die parallaktische Ungleichheit des Mondes liefert dasselbe Ergebnis (vgl. S. 264—265).

Direkt läßt sich die tägliche Parallaxe der Sonne, d. h. das Verhältnis ihres Abstandes zum Erdradius, durch Beobachtungen des Mars und derjenigen kleinen Planeten bestimmen, deren Entfernungen nicht viel größer sind als die des Mars. Das fixsternartige Aussehen dieser Asteroiden bietet der Beobachtung einen großen Vorteil. Auch hier ergeben sich dieselben Zahlen wie bei den andern Methoden.

Endlich haben wir bereits mehrfach auf die Durchgänge der Planeten Merkur und Venus vor der Sonnenscheibe hingewiesen, die einen besonders interessanten Fall des allgemeinen Bedeckungsphänomens darstellen. Es ist das Verdienst des großen Halley, zuerst auf die Wichtigkeit dieser Erscheinungen hingewiesen zu haben. Von den Lesern, in deren Hände dieses Buch zunächst gelangt, wird kaum einer das Schauspiel eines Venusdurchganges genießen können, da die nächsten Erscheinungen dieser Art erst in den Jahren 2004 und 2012 eintreten; Merkurdurchgänge lassen sich öfter beobachten. Beide Planeten gehen in der untern Konjunktion gewöhnlich im Norden oder Süden an der Sonne vorbei, und nur wenn sie dem Knoten hinreichend nahe sind, kommen Durchgänge zustande. Diese Erscheinungen sind dann für jeden einzelnen Planeten an eine Periode geknüpft, die sich in etwa mit der Finsternisperiode vergleichen läßt.

Es sollen in Fig. 93 die Kreise um E und S die Erd- und Sonnenkugel vorstellen, V das Centrum der Venuskugel. Zufolge dem dritten Keplerschen Gesetze läuft Venus als der sonnennähere Planet schneller als die Erde. Und da für einen europäischen Beobachter beide Planeten gegen den Uhrzeiger laufen, so wird Venus für diesen von links nach rechts über die Sonne ziehen; ihr scheinbarer Durchmesser, nicht nur der wahre, ist sehr viel kleiner als der der Sonne, es findet daher ein „Durchgang" im Sinne des vorigen Kapitels statt, ähnlich wie die Vorübergänge der Jupitermonde vor ihrem Centralkörper. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, daß der Durchgang absolut central sei, d. h. daß im Augenblicke der wahren Konjunktion E V S eine gerade Linie bilde. Von den beiden irdischen Beobachtern wird der nördlichere A die Venus[1] V auf den Punkt C der Sonnenscheibe

[1] So wollen wir der Einfachheit wegen sagen. In Wirklichkeit ist V das Centrum einer Kugel, seine Projektion also das Centrum eines Kreises.

projiciert sehen, der südlichere B auf den nördlichern Punkt D. Überhaupt sieht A den Planeten die südliche Sehne NO über die Sonne ziehen, und B die nördliche Sehne LM. Da die Entfernungen der Venus von der Sonne und der Erde sehr viel größer als die Durchmesser dieser beiden Körper sind, kann man die Dreiecke AVB und CVD als gleichschenklig ansehen; sie sind dann offenbar ähnlich, man hat also $AB : CD = VE : VS = (ES - VS) : VS = (1 - 0{,}723) : 0{,}723 = 0{,}277 : 0{,}723 = 0{,}38$. Denn wenn man die Entfernung Erde-Sonne gleich 1 setzt, so wird nach dem dritten Keplerschen Gesetz die Entfernung Venus-Sonne gleich 0,723 (vgl. S. 240). Das Merkwürdige bei der Erscheinung ist also dieses, daß wir auf der Sonnenscheibe ein Bild der irdischen (durch die Erdkugel hindurch gelegten) Sehne AB erhalten, und daß wir zugleich die Winkelgröße dieses Bildes CD bestimmen können. Wir kennen nämlich die Winkelgeschwindigkeit, womit Venus in der untern Konjunktion von links nach rechts[1] fortzuschreiten scheint; sie ist offenbar gleich dem Unterschiede zwischen ihrer wahren Winkelgeschwindigkeit und der kleinern Winkelgeschwindigkeit der Erde. Ferner kennen wir den Winkeldurchmesser der Sonne.

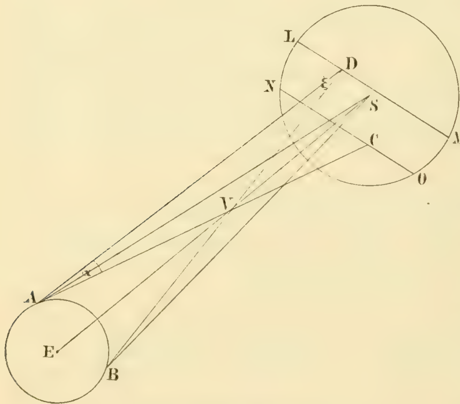


Fig. 93. Venus-Durchgang I.

Wir können also auch die Zeit bestimmen, welche die Venus gebraucht, um central über die Sonne zu gehen. Geht sie nicht central durch, so wird sie eine entsprechend kürzere Zeit brauchen; das Verhältnis der von ihr beschriebenen Sehne, etwa NO, zum Durchmesser, ist also durch Beobachtung der gebrauchten Zeit zu ermitteln. Für die beiden Beobachter A und B sind die Sehnen parallel, ihr Größenverhältnis zum Durchmesser ergiebt sich in der angegebenen Weise, darum auch die Punkte C und D, worin Venus in demselben Augenblicke zu stehen schien, also auch die Winkelgröße von CD. Wir können somit sagen:

[1] Die untere Konjunktion von Venus und Merkur entspricht der Opposition der andern Planeten, und die Himmelskörper sind denn auch in dieser Phase rückläufig. Vgl. S. 175—176.

dieselbe Strecke CD, die linear gleich 0,38 AB ist, erscheint in der Entfernung Erde-Sonne unter einem bestimmten Winkel CED, der sich aus Beobachtung und Rechnung ergiebt. Die geographischen Positionen von A und B lehren uns das Verhältnis von AB zum Erdradius; dieser Erdradius erscheint also in der Entfernung Erde-Sonne in einem gleichfalls bestimmbaren Winkel p, d. h. die tägliche Sonnenparallaxe ist (gemäß der Definition S. 102) gleich p. Und da wir das Dreieck CED nunmehr kennen, ist auch SE linear bestimmbar.

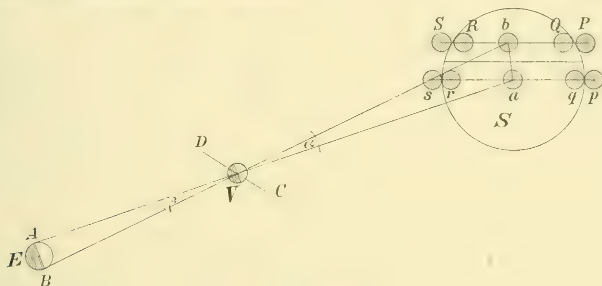


Fig. 94. Venus-Durchgang II.

Es handelt sich also um die genaue Bestimmung der Durchgangszeit wenigstens an zwei irdischen Orten, deren geographische Lage genau bekannt ist. Die Zeit hat jeder Beobachter von dem Momente an zu rechnen, wo der Mittelpunkt der Venus zum erstenmal im Sonnenrande steht, bis zu der zweiten Stellung dieser Art. Diese Momente selber sind nicht gut aufzufassen; desto besser aber die äußern und innern Berührungen. Unsere Figur 94, wo die Bezeichnungen etwas geändert sind, insbesondere DC einen andern Sinn hat, lassen die Sachlage deutlich erkennen. Der südliche Beobachter B sieht der Reihe nach die Kontakte S, R, Q, P, der nördliche s, r, q, p; die Mitte zwischen den Momenten der Berührungen S und R ergiebt den Anfang des Durchganges für den Beobachter B u. s. w. Zur Feststellung der Zeitpunkte hat man, wie Halley meinte, nur ein gutes Fernrohr und eine gute Uhr nötig. Thatsächlich ist diese Feststellung nicht ganz leicht. Allerdings ist Venus schon vor dem ersten äußern Kontakte S zu sehen, da sie sich auf die Sonnencorona (vgl. S. 284) projiciert. Aber der erste innere Kontakt R wird durch eine seltsame Augentäuschung, die schon den Beobachtern des Durchganges vom 6. Juni 1761 aufgefallen ist, sehr gestört. Anstatt der gehofften Erscheinung, wie sie das

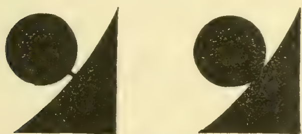


Fig. 95. Venus-Durchgang III.

Bild Fig. 95 rechts vorstellt, sahen sie das links in dieser Figur wiedergegebene Phänomen der Tropfenbildung: kurz ehe Venus ganz auf die Sonnenscheibe gerückt ist, bildet sich für das Auge des Beobachters zwischen ihr und dem Sonnenrande eine schwarze Brücke, die erst nach dem innern Kontakte zerreißt und eine genaue Feststellung desselben fast unmöglich macht.

Neben den zeitlichen Beobachtungen der Kontakte kann man auch noch während des Durchganges die Winkelabstände des Venusrandes vom Sonnenrande von Zeit zu Zeit messen oder auch die ganze Erscheinung mehrfach photographieren. In jedem Falle ist die rechnerische Verarbeitung des Stoffes eine sehr umständliche Sache. In die Rechnung gehen nämlich ein 1. die geographischen Positionen der Beobachtungsorte. Diese sind nicht immer Sternwarten, deren Lage man auf Grund langjähriger Beobachtungen genau kennt; die Venusexpeditionen haben mehrfach unwirtliche Gegenden aufsuchen müssen. Es ist ohne weiteres klar, daß ein Durchgang, der für das Centrum der Erde sehr excentrisch ist, wo Venus also für diesen Punkt eine sehr kurze Sehne über die Sonne ziehen würde, nur auf der Tagseite einer Halbkugel, d. h. etwa auf einem Viertel der Erdoberfläche sichtbar sein wird. Die Sehne AB ist dann zu berechnen, und zwar mit Rücksicht auf die Abplattung der Erde. Es geht 2. das Verhältnis der Radien der Venusbahn und der Erdbahn und 3. das Verhältnis ihrer Winkelgeschwindigkeiten ein; wobei man zu berücksichtigen hat, daß zwar die mittlern Winkelgeschwindigkeiten aus den Umlaufszeiten sehr genau zu bestimmen sind und dann mit Hilfe des dritten Keplerschen Gesetzes auch das Verhältnis der Bahnradien, daß aber die wahren Radienvektoren und Winkelgeschwindigkeiten auf Grund des ersten und zweiten Keplerschen Gesetzes veränderlich sind. Dann gehen 4. die Zeitbestimmungen und 5. die Fehler beim Bestimmen der Kontaktzeiten ein, wofür bei der Abstandsmessung die Fehler des Instrumentes und bei der Photographie mehrere andere Irrtümer (Ausmessungsfehler, Schichtverzerrungen) eintreten. Liegen viele Messungen von vielen Orten vor, so hat man eine verwickelte Ausgleichung zu machen.

Lange Zeit hat man den Wert der Sonnenparallaxe als richtig angenommen, den Encke aus den Venusdurchgängen des vorigen Jahrhunderts bestimmt hatte, nämlich 8″,57116. Man findet diese Zahl auch jetzt noch wohl in Büchern, obschon es längst bekannt ist, daß ihre hohe Genauigkeit Illusion und daß schon die erste Decimale falsch ist. Es hat sich herausgestellt, daß die Längen der Beobachtungsorte zum Teil sehr fehlerhaft bestimmt waren. Die Heliometerbeobachtungen [1] der deutschen Venusexpeditionen

[1] Das Meßinstrument, welches man Heliometer nennt, wird in Kap. 38 erklärt werden.

von 1874 und 1882 ergaben nach Auwers' gründlicher Bearbeitung 8″,88 mit dem wahrscheinlichen Fehler von ± 0″022. Es ist also nicht einmal die zweite Stelle zu verbürgen. Harkneß giebt die Parallaxe auf Grund verschiedener Bestimmungsmethoden zu 8″,80905 ± 0″,00567 an, wo natürlich die letzten Decimalen nicht ernst zu nehmen sind. Aus den in Bonn und an verschiedenen andern Orten angestellten Sonnenbeobachtungen hat Deichmüller die mehrerwähnte Mondgleichung der Erde bestimmt, woraus, unter Annahme des Newcombschen Wertes für die Mondmasse die Parallaxe 8″,93 folgt. Die Aberrationsbeobachtungen in Verbindung mit der physikalisch bestimmten Lichtgeschwindigkeit ergeben wieder etwas andere Ziffern. Wir entscheiden uns[1] für den Wert 8″,80. Man bemerke, daß dieses der Winkel ist, unter welchem der Äquatorradius der Erde vom Centrum der Sonne aus erscheint, wenn die Erde in mittlerer Entfernung von der Sonne ist. Für diese mittlere Entfernung A findet man dann, wenn a der Äquatorradius ist,

$$A = a : \sin p = a : \sin 8'',80 = a : \text{arc } 8'',80.$$

Denn für einen so kleinen Winkel ist der sin mit dem arc zu vertauschen. Nun ist arc 1″ = 1 : 206 264,8; ferner a = 637,7397 myriom; also A = 637,7397 · 206 264,8 : 8,85.

$$\begin{aligned} \log a &= 2,8046435 \\ \log 206\,264,8 &= 5,3144251 \\ \log 8,80 &= 0,9444827 \\ \hline \log A &= 7,1745859 = \log 14\,948\,100. \end{aligned}$$

Mithin dürfen wir den Sonnenabstand gleich 14,95 Millionen Myriometer setzen, entsprechend der schon im 16. Kapitel aus der Aberration ermittelten Größe. Die übrigen Decimalen sind gegenstandslos, da schon die zweite Decimale der Parallaxe unsicher ist. Die Änderung der Parallaxe um ± 0″,01 ändert die Entfernung A um ∓ A : 880. Damit ändern sich (vgl. das 20. Kapitel) alle linearen Größen im Sonnensystem, mit einziger Ausnahme der anderweitig bestimmten Dimensionen des Systems Erde-Mond, gleichfalls im Verhältnisse $\left(1 \mp \frac{1}{880}\right) : 1$; alle Flächengrößen im Verhältnisse $\left(1 \mp \frac{2}{880}\right) : 1$, alle Volumina im Verhältnisse $\left(1 \mp \frac{3}{880}\right) : 1$. Damit hangen dann die Dichtigkeiten zusammen in der im 19. Kapitel besprochenen Weise. Es ist zu bedenken, daß die Parallaxe um mehrere

[1] Hierin folgen wir vielen auf dem Gebiete urteilsfähigen Gelehrten. Die kleinen Abweichungen anderer Angaben nach oben und unten stützen sich beiderseits auf gründliche Untersuchungen, so daß man noch nicht in der Lage ist, sich nach einer Seite hin zu binden.

Hundertstel der Sekunde unsicher ist, etwa um $\pm 0'',0\,n$, wodurch man z. B. für die Unsicherheit der Volumina $\mp \frac{3n}{880} = \mp \frac{n}{293}$ erhält.

Nachtragend bemerken wir noch, daß Venus auf der Sonnenscheibe in dem sehr großen Winkeldurchmesser von 65″ erscheint und natürlich ihre dunkle Seite uns zuwendet. Den Durchgang vom 6. Dezember 1882, der zum Teil in Deutschland sichtbar war, wollen einige mit freiem Auge gesehen haben, was bei der angegebenen Größe nicht unmöglich, jedenfalls viel



Fig. 96. Größe der Sonne.

wahrscheinlicher ist als etwa die so oft behauptete Sichtbarkeit der Jupitersmonde für scharfe unbewaffnete Augen; auch die nachher zu besprechenden Sonnenflecken werden, wenn sie groß genug sind und die Sonne sehr tief steht, vom freien Auge gesehen.

Daß die häufiger eintretenden Merkursdurchgänge zur Bestimmung des Sonnenabstandes weniger geeignet sind als die der Venus, ergiebt ein Blick auf die Figuren 93 und 94. Lassen wir nämlich den Planeten V in viel größerer Sonnennähe vorbeiziehen, so werden sich die Sehnen, welche er für

zwei Beobachter zu beschreiben scheint, kaum mehr merklich unterscheiden; kleine Fehler in ihrer Bestimmung verfälschen dann das Resultat erheblicher. Im übrigen bestätigen die Beobachtungen auch dieser Vorgänge unsere Annahme über den Abstand der Sonne, die, durch so viele Beweise gefestigt, zu den bestverbürgten Thatsachen der Naturforschung gehört.

* * *



Fig. 97. Sonnenphotographie, aufgenommen 1893, August 7. $2^h\ 30^m$ auf der Specola Vaticana. Maßstab: 3,2 mm = 1′ an der Sphäre.

Der Sonnenball zeigt uns in mittlerem Abstande einen Durchmesser[1] von 1919″,26 = 31′ 59″,26 oder einen Radius von 959″,63 = 15′ 59″,63. Von einer Abplattung ist nichts zu bemerken. Im Sonnenabstande bedeutet

[1] Nach Auwers' Berechnung aus den Venusdurchgängen von 1874 und 1882; die heliometrischen Abstandsmessungen lieferten natürlich nicht nur für die Parallaxe, sondern auch für die Durchmesser von Venus und Sonne zahlreiche Bestimmungen (Astron. Nachrichten 3068).

eine Winkelsekunde die lineare Größe von 72,47 myriom, der Sonnenradius ist also 959,63 × 72,47 myriom = 69 590 myriom groß, ihr Durchmesser 139 045 myriom. Für die Oberfläche $4\pi\ r^2$ erhält man $6{,}078 \cdot 10^{10}$ qmyriom, für das Volumen $\frac{4\pi}{3}\ r^3$ kommen $1{,}409 \cdot 10^{15}$ Kubikmyriometer heraus. Der Durchmesser der Erdkugel ist 109,05mal in dem der Sonnenkugel enthalten, ihre Oberfläche 11 900mal in deren Oberfläche und ihr Volumen 1 300 000mal im Volumen der Sonne.

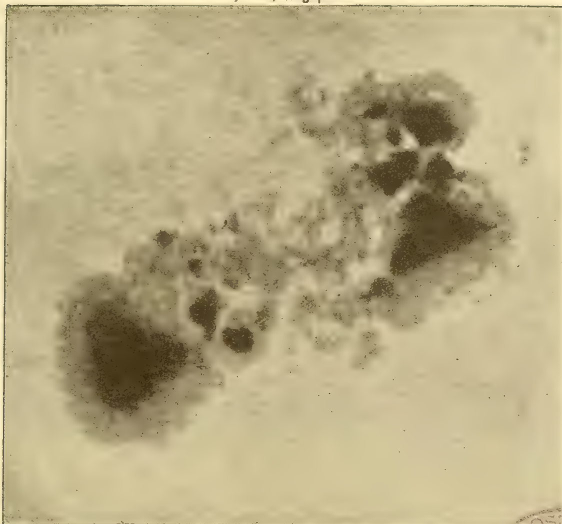
Die Größe der Sonne und ihres Systems sucht man sich wohl durch rechnerische Spielereien klar zu machen, etwa durch Beantwortung der Frage, wieviel Zeit eine Kanonenkugel oder ein Eisenbahnzug bis zur Sonne brauchen würden, da schon das Licht mit seiner unbegreiflichen Geschwindigkeit von etwa 30 000 myriom nicht weniger als 498^s brauche; oder wieviel Tage man zu einer Reise um die Sonne gebrauchen würde. Wir übergehen diese Scherze, die kaum ein wirkliches Verständnis herbeiführen können. Eine bessere Anschauung erhält man, wenn man sich die Erde in den Mittelpunkt der Sonne gesetzt denkt. Man könnte dann den Mond in seiner mittlern Entfernung von 38 440 myriom um die Erde führen, er bliebe noch ganz in der Sonne; ja man könnte ihn fast in die doppelte Entfernung setzen. Unsere Figur 96 deutet das an und weist zugleich das Größenverhältnis zwischen der Sonne und den fünf größten Planeten ♃, ♄, ⛢, ♆ und ♁ auf. (Bezüglich der mittelgroßen Planeten siehe Fig. 117, S. 359.)

Diese Dimensionen hat man sich zu vergegenwärtigen, wenn man die Sonne im Fernrohre ansieht oder auch eine Sonnenphotographie in Augenschein nimmt. Betrachten wir z. B. unsere Figuren 89 und 90 (S. 285 u. 286). Sie zeigen die Sonnen*corona*, die nur bei totalen Finsternissen gesehen wird; es ist die äußerste Hülle, und sie ist bei den Messungen natürlich nicht mitgezählt. Sie ist jedenfalls noch sehr viel ausgedehnter als die Sonne selbst.

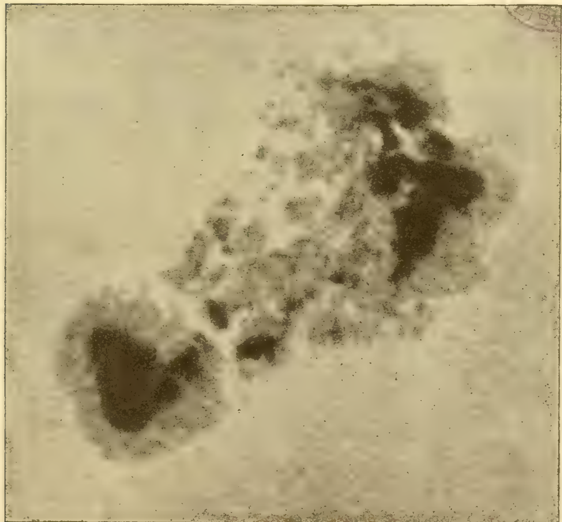
Betrachten wir ferner unsere Figur 97, die die Sonne nach einer Vatikanischen Photographie aus dem Sommer 1893 darstellt. Den längsten Durchmesser der auffallendsten schwarzen Fleckengruppe bestimmt man leicht zu etwa einem Zehntel des Sonnendurchmessers. Er ist also über zehnmal größer als der Durchmesser der Erde! Das erste Bild Fig. 98 zeigt uns dieses Ungetüm in etwas anderer Stellung und größerem Maßstabe; die zweite, am folgenden Tage aufgenommene Photographie weist schon gewisse Änderungen auf, und man halte sich gegenwärtig, daß dieser so rasch veränderte Fleck eine mehr als hundertmal größere Fläche einnimmt als Amerika.

Die Sonnenphotographien Fig. 97 und beide Bilder Fig. 88 (S. 284) zeigen, ebenso wie die vier Ansichten Fig. 99 noch eine auffallende Erscheinung, nämlich die Abnahme der Lichtstärke nach dem Rande hin. Dieser Anblick ist überhaupt allen photographischen Sonnenbildern gemeinsam, während man

a) 1893, August 7.



b) 1893, August 8



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 306.

Fig. 98. **Veränderungen eines in Rom photographierten Sonnenflecks.**

im Fernrohr nur wenig davon bemerkt. Er lehrt uns, daß die Sonne innerhalb der Corona noch eine zweite, sich ihr enger anschmiegende Hülle besitzt, nämlich eine Atmosphäre.

Man betrachte irgend einen glühenden Körper, z. B. das Eisen in der Schmiede oder eine Kohle oder auch, nach Wegnahme der Glocke, das Glühstrümpfchen in der Gaslampe, und man wird bemerken, daß alle diese Gegenstände eben erscheinen, ohne Biegungen und Kanten. An einem von außen her beleuchteten Körper, z. B. einem Holzwürfel, bemerken wir dagegen verschiedene Helligkeit der einzelnen Flächen. Die Optik zeigt, daß eine selbstleuchtende Fläche, wie wir sie auch stellen mögen, dem Auge immer dieselbe Helligkeit aufweist; steht sie schief zu der Ebene, welche man senkrecht zur Blicklinie legen kann, und zwar etwa im Winkel α, so wird ein bestimmtes Netzhautstückchen von mehr Strahlen getroffen als beim Zusammenfallen jener Ebenen; die Vermehrung geschieht im Verhältnisse $1 : \cos \alpha$. Dafür sind aber diese Strahlen im Verhältnisse $\cos \alpha$ schwächer, weil sie schief ausgetreten sind[1]. Also erscheint die schief stehende Fläche so hell wie die senkrecht zur Blicklinie stehende, und wir können eine Grenzlinie zwischen diesen Flächen nicht wahrnehmen. Da eine Kugelfläche als zusammengesetzt aus unzählig vielen ebenen Stückchen betrachtet werden kann, so sieht man auch nicht die Wölbung einer glühenden Kugel; eine solche, und ebenso jeder andere mehr oder weniger unregelmäßig begrenzte, gleichmäßig glühende Körper, erscheint uns also als Scheibe von gleichmäßiger Helligkeit.

Anders, wenn wir eine glühende Kugel mit einem eng anschließenden das Licht zum Teil verschluckenden Mantel umgeben. Annähernd hat man diesen Fall bei den verbreiteten Petroleum-Nachtlämpchen; man bemerkt, daß sie, aus der Ferne betrachtet, nach dem Rande zu schwächer erscheinen, weil nämlich die Strahlen hier einen längern Weg durch das absorbierende Mittel zurückzulegen haben.

Sorgfältige Untersuchungen haben gelehrt, daß von der Mitte der sichtbaren Sonnenscheibe zu ihrem Rande hin die Strahlen verschiedener Brechbarkeit in verschiedenem Maße schwächer werden: am wenigsten wurden die infraroten Wärmestrahlen geschwächt, stärker die roten, gelben, grünen, blauen und veilchenblauen Strahlen, am stärksten die nur mehr chemisch wirksamen ultravioletten Strahlen. Da nun die brechbareren Strahlen, etwa vom Blau an, photographisch die wirksamsten sind, so begreift man, daß die Sonnenphotographien zum Rande hin viel merklicher an Lichtstärke abnehmen als die

[1] Das Gesetz gilt nicht ganz streng, aber mit guter Annäherung. — Die Bilder Fig. 88 und 99 sind mit demselben photographischen Fernrohr aufgenommen und zeigen bei sorgfältigem Abmessen auch die Veränderlichkeit des scheinbaren Sonnendurchmessers. Vgl. S. 66; 280—281.

teleskopischen Bilder. Und ferner kann man die Existenz einer Sonnen-Atmosphäre behaupten, die, ähnlich der irdischen, die Sonnenstrahlen absorbiert, und zwar die brechbareren stärker als die minder brechbaren. Die leuchtende Hülle, die unter dieser Atmosphäre liegt und sich bis in unbekannte Tiefen des gewaltigen Sonnenkörpers erstreckt, wird die Photosphäre[1] genannt. Von außen nach innen zählen wir also vorläufig: 1. Corona, 2. Atmosphäre, 3. Photosphäre.

Diesen drei Schichten wollen wir sofort eine vierte hinzufügen. Bei totalen Sonnenfinsternissen sieht man (vgl. Fig. 89 und 90, S. 285 f.) zunächst um die dunkle Mondscheibe einen Ring von zartrötlicher Farbe, der aus den Protuberanzen, lauter schmalen wolken- und büschelartigen Gebilden zusammengesetzt ist, welche nur eine ganz dünne gemeinsame Basis besitzen. Man hat Gründe für die Annahme, daß die vorhin erwähnte Atmosphäre der Sonne viel höher hinaufgeht als die farbige Hülle oder Chromosphäre[2], aber bei weitem nicht so hoch wie die Corona. Und so werden wir nunmehr von oben nach unten, d. h. von außen nach innen zu zählen haben: 1. Corona, 2. Atmosphäre, 3. Chromosphäre, 4. Photosphäre.

* * *

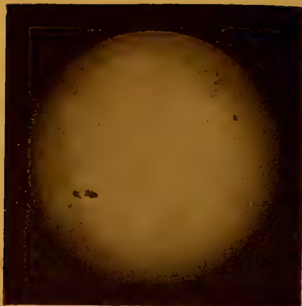
Die Sonnenoberfläche zeigt sich bei stärkerer Vergrößerung als ein Netz feiner leuchtender Grundbestandteile, die man wohl mit Weidenblättern oder Reiskörnchen verglichen hat. Auf das zweite Bild deutet der Ausdruck: Granulation[3] der Photosphäre. Zwischen den Körnchen erscheinen dunklere Punkte, die, wo sie in bedeutenderer Menge und Größe auftreten, die Erscheinung eines Flecks auf der granulierten Fläche hervorrufen, wie das Fig. 98 deutlich erkennen läßt. Es liegt nahe, die Erscheinungen in der Photosphäre als Grundlage von Vermutungen über die Natur des Sonnenkörpers zu benutzen. Wenn wir sagen, daß dieser eine Oberfläche von 60 000 000 000 qmyriom = 12 000 Erdoberflächen, ein Volumen von 1 300 000 Erdkörpern, die Masse von 331 301 Erden und demzufolge nur eine viel geringere mittlere Dichtigkeit als die Erdkugel besitzt, nur etwa 1,4 von der des Wassers; wenn wir ferner angeben, daß auf der Sonne ein fallender Körper in der ersten Sekunde nicht, wie bei uns 4,9 m, sondern 136 m zurücklegt, weil er fast 28mal stärker auf seine Unterlage drückt: so können wir uns, mit Rücksicht auf das 20. Kapitel, die Beweise für diese Angaben sparen und wollen nur noch betonen, daß die Zahlen unter der auf S. 303—304 besprochenen Ungenauigkeit der angenommenen Sonnenparallaxe je nach ihrer Art zu leiden haben.

Also ein so gewaltiger Himmelskörper erscheint uns mit lauter ungemein glänzenden weißen Wölkchen bedeckt, die in ihrer Gesamtheit eine fast un-

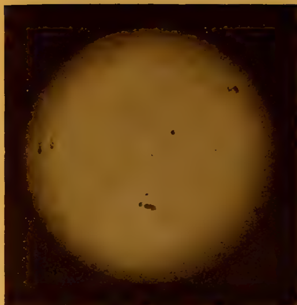
[1] Von φῶς, φωτός, das Licht; σφαῖρα, die Kugel.

[2] Von χρῶμα, Farbe, und σφαῖρα, Kugel.

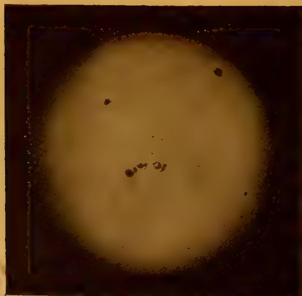
[3] Granum, das Korn; granulum, Körnchen; granulatio, Körnelung.



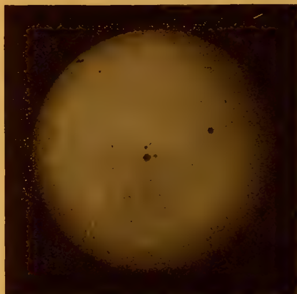
a) Mai 27.



b) Juni 20.



c) Juli 10.



d) August 5.

Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 306.

Fig. 99. Sonnenoberfläche im Jahre 1892. Nach vatikanischen Photographien.
Maßstab: 2 mm = 1′ an der Sphäre.

begreifliche Fülle von Licht und Wärme in das Weltall ausgießen. Auch die Flecken, die uns durch ein Blendglas schwarz erscheinen, sind heller als manche sehr starke irdische Lichtquelle; und die von der Sonne gelieferte Wärme beträgt bei senkrechtem Auffallen der Strahlen und nach Abzug des Verlustes in der Atmosphäre, vielleicht 30 000 Gramm-Calorien in der Minute für ein Quadratmeter, d. h. sie könnte auf jeder derartigen Fläche die Temperatur einer Wasserschicht von 1 cm Höhe um 3 ° C steigern. Die Leuchtkraft der Photosphäre ist nach Langleys Messungen vielleicht hundertmal größer als die des entkohlten Eisens, welches, aus der Bessemerbirne ausströmend, dem

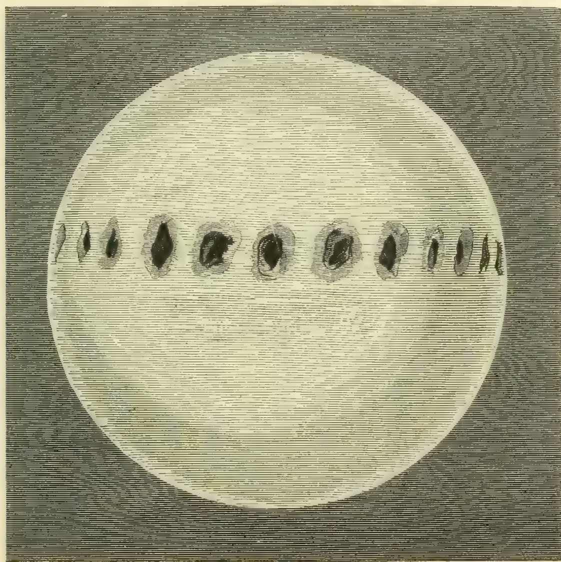


Fig. 100. Veränderung eines Sonnenflecks durch die Rotation, schematisch dargestellt.

Besucher eines Stahlwerkes den Eindruck der Tageshelle macht. Es handelt sich hier, wohlverstanden, um die Lichtabgabe gleich großer Flächenstücke.

Ist nun der ganze Sonnenball aus solchen photosphärischen Wölkchen zusammengesetzt, oder stellen sie nur eine oberste Schicht dar als wirkliche atmosphärische Wolken? Für diese zweite Ansicht sprechen mehrere Erwägungen. Die nachher zu besprechende Achsendrehung der Sonne ändert die Gestalt der Flecken in eigentümlicher, aus Fig. 100 zu ersehender Weise. Die Flecken, die sich auf der Mitte der Scheibe als dunkle, im ganzen kreisähnliche Gebilde zeigen, welche von dem Halbschatten oder der Penumbra

umgeben sind, haben vor- und nachher am Rande längliche Umrisse. Den Grund dafür werden wir, ähnlich wie bei den Kratern und Ringgebirgen des Mondes, in der verzerrenden orthographischen Projektion erblicken müssen (vgl. S. 113). Wäre nun der Fleck ein flächenhaftes, so zu sagen, auf die Photosphäre gemaltes Objekt, so würden Fleckenumriß und äußere Penumbrabegrenzung als concentrische Ellipsen am Rande erscheinen müssen. Thatsächlich aber zeigt sich jetzt die Penumbra nur an der zum Rande hingewandten Seite des Flecks, wie das Fig. 101 in besonders schöner Weise nach der Natur zeigt, während Fig. 100 schematisiert ist. Auch sieht man in Fig. 101 die Sonnenfackeln (faculae, im Gegensatze zu den Flecken, die maculae heißen). Es sind besonders helle, gern in der Nähe des Randes auftretende Gebilde, die jedenfalls mit den Protuberanzen zusammenhängen.

Es drängt sich hier die Erklärung auf, daß die Flecken trichterartige (konische) Vertiefungen in der Photosphäre sind. Machen wir in eine weiche Kugel, z. B. eine Kartoffel, eine solche Vertiefung, indem wir ein spitzes Messerchen einführen und kegelig herumdrehen, färben wir dann die Vertiefung unten schwarz und oben hellbraun, so können wir durch Umdrehung der Kugel um eine Achse die besprochenen Erscheinungen im Bilde erhalten.

Dieser Gedanke liegt nun der nach Wilson und J. Herschel benannten Hypothese zu Grunde, die eine Zeitlang ziemlich allgemein angenommen war, bis sie den Thatsachen der physikalischen Forschung weichen mußte. Die genannten Physiker hielten den Sonnenkörper für wesentlich dunkel; er sollte aber von einer ziemlich mächtigen leuchtenden Schicht, eben der Photosphäre, umgeben sein. Die Sonnenflecke waren dann Höhlungen in der Photosphäre, wodurch man auf den nichtleuchtenden, und nach der Meinung schwärmender Weltallsbevölkerer offenkundig bewohnbaren, Kern hinabschaute.

Seitdem man weiß, daß ein erhitzter Körper beständig bestrebt ist, seinen Wärmevorrat an die kühlere Umgebung zu verteilen, bis überall dieselbe Temperatur herrscht, seitdem sieht man ein, daß sich ein kalter Sonnenkern in einer so heißen Photosphäre gar nicht halten könnte. Die Lichthülle, die verschwenderisch Energie ausstreut bis zu den entferntesten Planeten, würde am wenigsten das von ihr eingeschlossene Sonneninnere verschonen. Man kommt nicht an der Annahme vorbei, daß die ganze Sonne in hoher Glut ist. Zur Bestimmung ihrer Temperatur hat man verschiedene theoretische Schlußketten zusammengefügt und ist zu sehr verschiedenen Ergebnissen gekommen. Zwei Angaben aus den letzten Jahren kommen den relativ geringern Zahlen wieder näher. J. Scheiner schließt aus spektralanalytischen Gründen, daß die Temperatur der obersten Schicht der Photosphäre der des elektrischen Lichtbogens — etwa 3000—4000° C — nahekommt; W. E. Wilson und R. E. Gray verglichen radiomikrometrisch die Strahlung der

Sonne mit der eines Platinstreifens von bekannter hoher Temperatur. Sie erhielten 6200° C für die Sonnentemperatur. Diese beiden Feststellungen weichen schon ziemlich voneinander ab; sie zeigen aber, daß gewisse ältere Annahmen, die auf Millionen von Graden gingen, doch wohl nicht haltbar sind.

Die nachher zu besprechenden spektralen Eigentümlichkeiten der Sonne lehren uns übrigens, daß ihre Temperatur jedenfalls sehr hoch ist, wie denn auch die Wärme des elektrischen Lichtbogens, die man wohl als unterste zulässige Grenze ansehen darf, hier auf Erden so ziemlich die höchste überhaupt erreichbare ist. Es ist nun schwer, sich von dem Zustande einer so äußerst heißen und dabei fast unbegreiflich großen Masse eine richtige Vorstellung zu bilden. Die unserer Beobachtung zugänglichen obersten Schichten sind jedenfalls noch erheblich kühler als das Innere, da sie ihre Wärme fortwährend durch Strahlung gegen das Weltall vermindern. An diesem Verluste ist indirekt natürlich auch das Sonneninnere beteiligt; er ist sehr groß, wie schon aus der vorhin angegebenen Zahl für die Sonnenstrahlung auf der Erde hervorgeht; denn dieser Himmelskörper erscheint doch eben von der Sonne aus unter einem sehr kleinen Winkel, woraus hervorgeht, daß die auf ihn fallende Wärmemenge nur einen sehr geringen Bruchteil ausmacht von der in das Weltall hinein verschleuderten. Man hat sich gefragt, wodurch dieser große Wärmeverlust ersetzt wird. Zum Teil darf man, im Sinne einer ältern Annahme, den Hereinsturz sehr kleiner Weltkörperchen, der sogen. Meteoriten, zur Erklärung heranziehen; indessen scheint die vorzüglich von Helmholtz vertretene Hypothese, daß die Zusammenziehung des erkaltenden Sonnenkörpers Arbeit genug leiste, um den Wärmeverlust zu ersetzen[1], in der Hauptsache zur Ausdeutung des Vorganges hinzureichen. Die säkulare Verminderung des Sonnendurchmessers durch diese

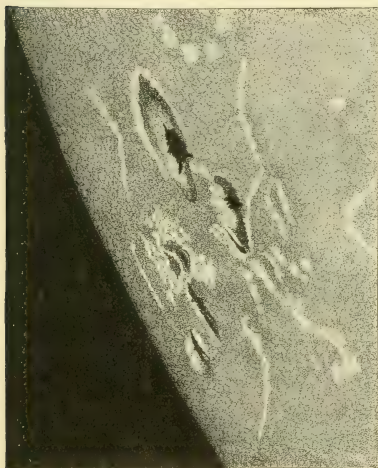


Fig. 101. Sonnenrand mit Flecken und Fackeln am 8. August 1873. (Nach Lohse).

[1] Jede mechanische Arbeit, nach welcher die Energie vermindert erscheint, hat Wärme geliefert, z. B. die Reibung.

fortschreitende Kontraktion mit unsern Meßinstrumenten nachzuweisen, sind wir noch nicht im stande, da ihr Betrag, der Rechnung zufolge, klein genug ist, um sich noch lange innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler zu halten. Es würde nämlich die Verkleinerung des Sonnendurchmessers um seinen zehntausendsten Teil, d. h. geocentrisch um nicht ganz 0″, 2, vollständig so viel Wärme erzeugen, als zur Ausgleichung des Strahlungsverlustes in einem ganzen Jahrhundert notwendig wäre. Nun sind die Messungen des Durchmessers bei weitem noch nicht genau genug, um die Größe von 0″,2 verbürgen zu können. Eine Bestätigung von Helmholtz' Annahme ist auf diesem Wege also nicht so bald zu erhalten; eine Widerlegung aber auch nicht, und viele Gründe sprechen für deren Richtigkeit.

Thomson vermutet, daß die Sonne nicht älter als 20 Millionen Jahre sein kann und daß sie spätestens nach 5 bis 6 Millionen Jahren ihre lebenspendende Thätigkeit einstellen wird. Schon lange vorher wird sie merklich kühler sein, wahrscheinlich in dunkle Rotglut übergehen und infolge der Ausbildung dunklerer Schlacken einen deutlichen Lichtwechsel zeigen. Wir werden später (im 36. Kapitel) von Fixsternen hören, die sich ähnlich verhalten, wie es die Sonne nach Jahrmillionen thun wird.

Alle uns bekannten Stoffe müssen sich auf der Sonne in unbegreiflich hoher Glut befinden; die Materie ist dort in einem Zustande, von dem wir uns hienieden, wo uns nur die feste, flüssige und gasige Form bekannt ist, kaum eine Vorstellung machen können. Einige Forscher halten die Sonne für tropfbar flüssig, andere geben ihr die Eigenschaften eines Gases; noch andere, deren Meinung uns am besten die Wahrheit zu treffen scheint, denken an ein zähes, viskoses[1] Gefüge, wie beim Teer oder Honig, da die gewöhnlichen Eigenschaften eines Gases, die an sich bei der äußerst hohen Temperatur des Kernes auftreten müßten, durch den gewaltigen Druck aufgehoben würden. Man denkt sich dann weiter, daß in den obersten Schichten, wo der Druck am geringsten ist, die Dämpfe durch die Ausstrahlung gegen den kalten Weltraum zu Wolken verdichtet werden, also zu Gemengen von Dämpfen und weißglühenden Flüssigkeitsblasen, die sich, gleich den irdischen Wasserwolken, infolge ihres großen Umfanges in der Atmosphäre schwebend erhalten, übrigens aber in beständigem Werden und Vergehen sind und als granulierte Photosphäre in das All hinausleuchten. Sie mögen in ziemlich hohen Schichten der Sonnenatmosphäre umherschwimmen, d. h. des Gebietes, wo die Materie, unter relativ geringerem Drucke stehend, in freierer Bewegung begriffen ist als in dem teerartig zähen Sonnenkerne.

Eine besondere gasige Schicht, die sich über die Photosphäre, also über die körnigen Wolken hinaus, noch ein wenig weiter erstreckt, werden wir

---

[1] Von viscum, Mistel, Vogelleim.

dann als Chromosphäre, als den Herd der Protuberanzen, zu betrachten haben, während sich die eigentliche Atmosphäre mit rasch abnehmender Temperatur noch etwas weiter nach außen erstreckt und hier, wie sich bald ergeben wird, merkwürdige optische Erscheinungen hervorruft. Sie macht weiter der Corona Platz.

* * *

Feste und flüssige Körper geben in der Glut ein noch helleres Licht als glühende Gase. Die neuesten Beleuchtungsvorrichtungen erstreben daher immer das Erglühen einer möglichst großen Fläche eines im festen Zustande befindlichen Körpers; so ist das elektrische Glühlicht und das Auerlicht entstanden, so auch die Erdöllampen mit festen Glühkörpern. Die Photosphäre ist als ein Gebiet aufzufassen, wo die Gase noch dicht genug sind, um sichtbare Wolken zu bilden, und doch schon dem kalten Weltraum hinreichend nahe, um den zur Wolkenbildung nötigen Wärmeverlust zu erfahren. Die Photosphäre gruppiert sich also vielleicht um eine ziemlich dünne Kugelschale, um eine Unstetigkeitsfläche, in deren Nähe die Verhältnisse eine rasche Änderung erfahren: unter ihr sind die Gase zu heiß, um Wolken zu bilden, über ihr zu dünn. Solche Grenzflächen entstehen öfters in der Natur. Die sogen. leuchtenden Nachtwolken z. B.[1] halten sich über der Erdoberfläche in einer Höhe von ziemlich genau 82 km, und sie stellen wahrscheinlich das Ergebnis einer Wechselwirkung von drei Kräften dar, nämlich der Anziehungskraft der Erde, gewissen elektrischen Kräften und der Gegenwirkung der sogen. Himmelsluft.

Es ist nun aber doch die Frage, ob man eine solche photosphärische Fläche annehmen muß. Vor einigen Jahren wurde die Gelehrtenwelt durch ein Schriftchen von mäßigem Umfange überrascht, dessen Verfasser, der Realgymnasial-Professor Dr. August Schmidt in Stuttgart, den scharfbegrenzten Sonnenrand, wie er allen Beobachtern wohlbekannt ist, für eine optische Täuschung erklärte. Sein Gedankengang, soweit wir ihn hier in Kürze wiedergeben können, ist folgender. In der Atmosphäre eines jeden Weltkörpers werden die Lichtstrahlen gebrochen. Das gilt für Lichtstrahlen, die von außen her dem Weltkörper zukommen (z. B. der Erde, vgl. S. 94 ff.; 290 ff.), und auch für Strahlen, die von ihm selbst ausgehen. Ein von außen eintreffender Strahl wird durch die Brechung in den verschiedenen Luftschichten der vertikalen Linie immer mehr genähert, er beschreibt, da sich die Dichtigkeit der Luft nicht sprungweise, sondern beständig ändert, eine krumme Linie und erscheint zuletzt in größerer Höhe, als die geometrische Stellung ergiebt. Die Ablenkung ist um so größer, je weiter schon der einfallende Strahl von der Vertikalen entfernt ist (vgl. S. 88 dieses Buches).

---

[1] Vgl. Jakob, Unsere Erde (2. Aufl., Freiburg, Herder) S. 160. 188 ff.; ferner S. 191 des vorliegenden Buches.

Geht ein Strahl von einem Punkte der Erdoberfläche aus, z. B. von einer in geringer Höhe stehenden Lampe, so wird seine Bahn durch die Brechung in der Atmosphäre zwar etwas gekrümmt werden, es läßt sich jedoch nachweisen, daß der Halbmesser dieser Krümmung da, wo sie am stärksten ist, also beim Ausgange, 4,3mal so groß ist wie der Halbmesser der Erde. Infolgedessen wird der tangential ausgegangene Lichtstrahl, falls er nicht zufällig irdische Gegenstände trifft, also z. B. der Lichtstrahl, der von der Lampe eines Schiffes auf hoher See ausgegangen ist, einfach ins All hinausgehen und nicht zur Erde zurückkehren. Bezeichnet (Fig. 102) der äußerste Kreis einen centralen Durchschnitt durch die Erdkugel und A die Lichtquelle, so wird ein Strahl nach A′ gehen und der entgegengesetzte nach O, welcher Punkt uns das Auge eines entfernten Beobachters bedeuten soll. Lichtstrahlen, die von höher gelegenen Punkten horizontal ausgehen,

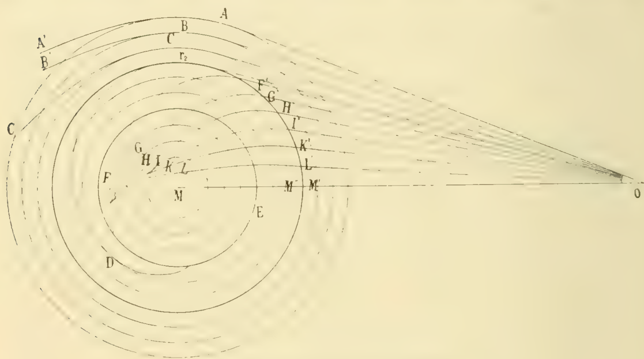


Fig. 102. Zur Sonnentheorie von Schmidt.

etwa von einer im Luftballon mitgeführten elektrischen Lampe, gehen erst recht ins All hinaus, weil sie in der viel dünnern Luft bedeutend weniger gekrümmt werden, während andererseits die Krümmung der bis zu diesem Punkte gerechneten Erdoberfläche fast gar nicht geringer ist als die des Festlandes und der Meere. Und erst recht müssen alle Strahlen, die unter einem mehr oder weniger großen Winkel gegen die Horizontalebene von einem Punkt auf der Erdoberfläche oder in den höhern Luftschichten nach oben austreten, den Erdball auf Nimmerwiedersehen verlassen. Die Erde ist in Bezug auf die Lichtbrechung ein Himmelskörper erster Art.

Nun denken wir uns auf die Sonne versetzt, deren Atmosphäre wir für den Augenblick dieselbe Beschaffenheit zuschreiben wollen, wie wir sie an der Erdenluft beobachten. Ein Strahl, der tangential von der Sonnenoberfläche ausgeht, muß nun notwendig zu ihr zurückkehren. Denn seine

Bahn ist zwar 4,3mal schwächer gekrümmt als die Erdoberfläche, aber 25mal stärker als die Oberfläche der Sonne, die ja einen 109mal größern Radius besitzt als die Erde. Wir sagen: der Strahl muß zurückkehren, denn er erfährt, wo die Atmosphäre dünner wird, die besondere Art von Brechung, die man als vollständige Zurückwerfung oder totale Reflexion[1] bezeichnet und die uns hienieden die Weiße des Schnees, den Glanz einer Luftblase im Wasser, unter dem Eise oder im Fensterglase und manche andere Erscheinung erklärt. Ist der Strahl erst aus der horizontalen Richtung nach unten gekrümmt, so beugt ihn die Lichtbrechung immer mehr zur Vertikalen hin.

Einen Punkt der eigentlichen Sonnenoberfläche kann also ein Strahl überhaupt nicht tangential verlassen. Ist die Lichtquelle etwas höher, so wird, weil die Lufthülle leichter geworden ist, die Krümmung schwächer ausfallen, und zuletzt gelangen wir zu einer kritischen Höhe. Sie ist dadurch ausgezeichnet, daß ein Lichtstrahl, der von einer in ihr gelegenen Quelle horizontal ausgeht, durch die Brechung gleich im Anfange genau dieselbe Krümmung erfährt, die auch die bis zu dieser Höhe gerechnete Kugelfläche besitzt. Die Brechung hält ihn dann offenbar immer in derselben Höhe, d. h. der Strahl kreist unaufhörlich um die Sonne und kann niemals in das Weltall austreten. Geben wir ihm dagegen einen, wenn auch kleinen, Winkel gegen die Horizontale, so wird er die Sonne verlassen. Was über dieser kritischen Höhe ist, das zeigt die Erscheinungen der Himmelskörper erster Art: alle Horizontalstrahlen treten aus. Was aber unter der kritischen Höhe ist, das verhält sich wie ein Himmelskörper zweiter Art: kein Horizontalstrahl kann austreten; das ist das Kennzeichen eines solchen Körpers.

Noch mehr: wenn aus dieser untern Schicht ein Strahl nicht mehr horizontal austritt, sondern unter einem sehr kleinen Winkel nach oben geht, so trifft er auch bald eine Schicht, die ihn total reflektiert und wieder zur Sonne hin beugt. Für jede Schicht, z. B. die den Punkt E (Fig. 102) enthaltende, giebt es einen kritischen Austrittswinkel. Ist der wirkliche Austrittswinkel kleiner als der kritische, so kehrt der Strahl in die Tiefe zurück; ist er größer, so verläßt der Strahl die Sonne. Ein Strahl aber, der gerade unter dem kritischen Winkel austritt, muß, wie die theoretische Optik nachweist, wiederum auf der Sonne bleiben; er steigt erst rasch an, beinahe bis zu der vorhin erklärten kritischen Höhe; diese erreicht er aber nicht, sondern er umkreist die Sonne beständig, kommt auch beständig höher, aber um immer geringere Beträge. Mit andern Worten:

[1] Man findet diesen Begriff in den früher (S. 86) angegebenen Lehrbüchern der Physik erläutert; vgl. auch S. 88 dieses Buches.

er nähert sich der kritischen Fläche asymptotisch[1], fast wie ein periodischer Decimalbruch, etwa 0,333 . . ., seinem Grenzwerte ($^1/_3$) mit immer kleinerer Geschwindigkeit näher rückt, ohne ihn je zu erreichen.

Diese kritische Fläche ist also eine Unstetigkeitsfläche für den Gang der Lichtstrahlen, hat aber mit der Sonne selbst an sich nichts zu thun. Lassen wir nun noch die Voraussetzung fallen, daß die Sonne ein Körper sei ähnlich wie die Erde und umgeben von einer entsprechenden Atmosphäre. Nehmen wir an, sie sei ein glühender Gasball, der nach innen mit zunehmendem Drucke immer dichter wird, nach außen aber sich mit unbestimmter Grenze sehr weit ins Weltall erstreckt. Die Dichtigkeit der Gase wird durch ihre Entfernung vom Centrum bestimmt. Die Gasdichte und damit die brechende Kraft ändert sich rascher als auf der Erde, woraus sich ergiebt, daß der Grenzwinkel, den man unter Annahme einer der irdischen ähnlichen Atmosphäre zu 1° 16′ berechnen könnte, sehr viel größer sein muß. Unsere Fig. 102 zeigt die Strahlen AO, BO, CO, die sich allmählich den Hohlkugeln stärker anschmiegen, bis die kritische Fläche F′G′ . . . erreicht ist. Je tiefer wir nun dringen, desto höher wächst die Lichtfülle des immer dichter werdenden Gasballes an. Aber desto mehr geht auch von dieser Lichtfülle für das Auge O verloren, weil der Grenzwinkel immer größer wird. Natürlich bleibt er stets unter 90°, wie denn auch aus dem Mittelpunkte M noch ein Strahl auszutreten vermag. Schon ehe man M erreicht, wird man wahrscheinlich auf eine zweite Grenzfläche EF stoßen, innerhalb deren sich die Masse wieder wie ein Himmelskörper der ersten Art verhält. Denn die Zunahme des Druckes verlangsamt sich allmählich so, daß das Gas zuletzt fast als ein homogenes Mittel gelten kann, als ein Mittel, worin sich der Lichtstrahl geradlinig fortpflanzt.

Die Gesamtwirkung läßt sich nun übersehen, obschon der strengere Nachweis nur durch verwickelte Rechnungen geführt werden könnte. Ohne die merkwürdigen Brechungsvorgänge sähen wir die Sonne so, wie sich uns manche schweiflose Kometen und sogen. Nebelsterne darstellen, nämlich als weiße Masse, deren Helligkeit von außen nach innen beständig zunähme. Jene Vorgänge bewirken nun aber, daß sich die Helligkeit der von der kritischen Fläche eingeschlossenen Kugel ziemlich gleichmäßig verteilt, so daß sie sich uns als gleichmäßig glühende Scheibe darstellt; was aber außerhalb der kritischen Fläche liegt, das zeigt sich plötzlich in seiner wahren, sehr geringen Helligkeit — es mag die Corona sein, deren nebelhaft verwaschenes Gebilde uns die allmählich dünner werdende äußerste Gashülle erkennen läßt.

---

[1] Von *α* privativum und *συμπτωτός*, zusammenfallend. Die Geometrie kennt viele Beispiele für asymptotische Annäherungen. Die Asymptoten einer Hyperbel, oder ihre Tangenten in den beiden unendlich fernen Punkten, haben schon die alten griechischen Mathematiker untersucht.

Der scharfbegrenzte Sonnenrand ist eine Täuschung; die Granulation führt sich auf wallende Verdichtungen und Verdünnungen des Gases zurück; die Flecken auf große Verdünnungsgebiete, die wie zerstreuende Hohlgläser wirken, die Fackeln auf Verdichtungen, die als Sammellinsen thätig sind.

Schmidts Hypothese spricht gerade durch ihre Kühnheit ebenso an wie durch das Zurückgehen auf die strengen Gesetze der Optik. Es ist auch nicht zu bezweifeln, daß in der Tiefe des Sonnenkörpers die Lichtstrahlen im wesentlichen den geschilderten Verlauf nehmen, und daß auch für andere große Weltkörper, denken wir nur an Jupiter, das Studium der Brechungsverhältnisse angezeigt ist. Es fragt sich jedoch, ob wir nun die Photosphäre wirklich für eine Täuschung halten müssen.

Vielleicht noch nicht. Denn warum kann nicht über der kritischen Fläche, und zwar vielleicht sehr weit über ihr, eine Fläche liegen, worin sich auf die vorhin angegebene Weise photosphärische Wolken als Ergebnis der Abkühlung zu bilden pflegen? Dann können die Lichtstrahlen unterhalb der Photosphäre laufen wie sie wollen, für uns sind sie nicht da, wir haben es mit der Lichthülle zu thun, die sich einfach als Himmelskörper erster Art verhält. Und wenn die Sonnenflecken uns nun einen Blick in die gärende Tiefe darbieten, so ist es ja möglich, aber auch noch nicht notwendig, daß dieser Blick bis auf die kritische Fläche dringt. Ein sorgfältiges Studium der Fleckenerscheinungen ließe uns dann vielleicht die Möglichkeit, das, was wirklich an den Gebilden ist, von dem verwirrenden optischen Spiele zu trennen und einzusehen, daß in der Tiefe unseres Tagesgestirns thatsächlich die Schmidtschen Gesetze gelten.

Die neue Sonnentheorie hat begeisterte Anhänger, aber auch ausgesprochene Gegner unter den Fachleuten gefunden; hie und da wird sie auch vollständig ignoriert, was jedenfalls der bequemste Standpunkt ist. Von den Anhängern hat einer, Knopf in Jena, die Frage der Sonnenrotation in sinnreicher Weise mathematisch mit der Theorie zusammengebracht; er kommt zu der Ansicht, die Theorie sei „bereits fest genug begründet, daß sie durch Einwände, welche von dem selbst wenig bekannten physikalischen Zustande der Sonne hergenommen sind, nicht mehr erschüttert werden kann, sondern eher zur Prüfung unserer bisherigen diesbezüglichen Ansichten verwendet werden könnte". E. v. Oppolzer in München sagt dagegen, daß die Hypothese mehrere Bedenken habe[1] und keineswegs die Vorgänge zwanglos erkläre; er schließt: „Es kann nach wie vor als eine der feststehenden Thatsachen der Sonnenphysik angesehen werden, daß der Sonnenrand (die Photosphäre) von einer Wolkenhülle gebildet wird, die in den höchsten Regionen der Sonnenatmosphäre schwebt — als solche haben wir die uns

[1] Für deren gewichtigstes wir die Vernachlässigung der Absorption halten möchten.

zugänglichen Schichten der Sonnenatmosphäre aufzufassen — und alles Licht, das aus tiefern Schichten stammt, vollständig absorbiert. Von diesem Gesichtspunkte aus erheben sich keine principiellen Schwierigkeiten bei der Erklärung der Erscheinungen."

Man muß es der Zukunft überlassen, diese Fragen zu entscheiden.

* * *

Da die Sonne für uns die bedeutendste Lichtquelle ist, so ist die Frage nach ihrer Beschaffenheit mit mehreren Fragen der Optik oder Lichtlehre innig verknüpft.

Man kann sich über die Natur des Lichtes zwei verschiedene Vorstellungen bilden, zwischen denen nur die Erfahrung entscheiden darf. Ist es eine feinverteilte Masse, die sich mit so gewaltiger Schnelligkeit durch den Raum ergießt, unsere Netzhaut trifft und hier in den Verzweigungen des Sehnervs eine Empfindung auslöst? Oder ist es ein Bewegungszustand, der sich in einem materiellen Substrat, einem Mittel (Medium) fortpflanzt und die Netzhaut erschüttert? Das zweite ist die Annahme der Wellenlehre, Undulations- oder Vibrationshypothese, deren Gebäude bereits im 17. Jahrhundert von dem scharfsinnigen Huygens begründet wurde. Die erste, beim oberflächlichen Blicke natürlichere Annahme ist die Ausstreuungslehre oder Emissionshypothese, die im 18. Jahrhundert an dem großen Newton den beredtesten Verteidiger fand. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts haben die Arbeiten ausgezeichneter Physiker über die Erscheinungen, die man als Interferenz, Doppelbrechung und Polarisation des Lichtes bezeichnet, der Wellenlehre den endgültigen Sieg verschafft; sie haben nachgewiesen, daß die Ausstreuungslehre zur Deutung dieser Vorgänge lauter künstliche Hilfsannahmen machen muß, um sich schließlich dennoch in Widersprüche zu verwickeln, während die Wellenlehre aus einem einfachen obersten Grundsatze alles zwanglos erklärt.

Das Licht ist eine Wellenbewegung wie der Schall, unterscheidet sich aber von ihm doch in mehreren Punkten. Zunächst ist die Trägerin der Schallwellen die Luft oder auch die Masse eines festen Körpers. Die erschütterte Glocke erteilt der Luft fortwährende Stöße, jeder bewirkt eine Verdichtung, die als Zustandsform durch den Raum fortschreitet, und zwar nach allen Seiten gleich schnell, d. h. als Kugelschale, die sich immer mehr erweitert. Trifft die Welle das Ohr, so erschüttert sie das Trommelfell, die Gehörknöchelchen und das Labyrinth mehr oder weniger, je nach ihrer Stärke, vom sanften Zephyrgeflüster bis zum Kanonenknall, der das Trommelfell und selbst eine Fensterscheibe zerschmettert.

Das Medium, worin sich die Lichtwellen fortpflanzen, ist ein von der Wissenschaft angenommener, unsern Sinnen aber nicht unmittelbar bekannter Stoff, der Lichtäther[1]. Die Eigenschaften, die man ihm zuschreibt, sind der Natur der Sache zufolge fast lauter Verneinungen. So gilt er als gewichtslos, d. h. man kann ihn bei keiner Wägung ausschließen, weil er sich zwischen alle Massenteilchen zu drängen scheint, und er stört auch keine Wägung, weil er jedenfalls sehr viel feiner ist als die körperlichen Teilchen.

Geraten diese Teilchen in sehr schnelle zitternde Bewegung, dann teilen sie solche dem Äther mit. Es entstehen dadurch in dem Äther transversale oder quere Schwingungen im Gegensatze zu den longitudinalen oder Längsschwingungen der Luftteilchen

---

[1] Von dem „Äther" im poetischen Sinne, also der reinen hohen Luft, und ebenso von den Chemikalien, die man Äther nennt (z. B. dem mißbräuchlich so genannten Schwefeläther), ist dieser Stoff natürlich wohl zu unterscheiden.

beim Schalle. Die Verschiebung eines Ätherteilchens gegen seine Gleichgewichtslage ist nämlich senkrecht gegen die Linie gerichtet, längs deren sich die Bewegung fortpflanzt, d. h. gegen den Strahl. Nun kann man auf einer Linie in einem bestimmten Punkte unzählig viele Senkrechte errichten, die zusammen eine auf der Linie senkrechte Ebene erfüllen. Die Schwingungen der Ätherteilchen geschehen in rascher Folge nach allen diesen Querrichtungen hin, nach allen Azimuten, wie wir, einen wohlbekannten Begriff übertragend, die Sache ausdrücken wollen. Denn auch die heftig erschütterten Massenteilchen des lichtaussendenden, glühenden Körpers verschieben sich nach immer andern Richtungen, und die Ätherteilchen folgen ihnen in jedem Falle.

Die einzelnen Ätherteilchen können nur sehr kleine Verschiebungen erfahren, weil sie durch die Elasticität der gesamten Äthermasse, d. h. durch die Anziehung der Nachbarteilchen, zurückgerissen werden und nun dem Trägheitsgesetze folgend nicht sofort zur Ruhe kommen, sondern eben hin und her gehen. Dadurch stören sie das Gleichgewicht der folgenden Teilchen, die sich der Reihe nach zu Querschwingungen in demselben Azimute anschicken wie das erste Teilchen. Und so eilt die Gleichgewichtsstörung als Lichtwelle mit großer Geschwindigkeit in gerader Linie fort. Nur wo sich die Dichtigkeit oder Elasticität des erschütterten Äthers ändert, d. h. regelmäßig beim Übergange von einem Körper zum andern, da findet eine Brechung sowie eine Zurückwerfung statt; so beim Eindringen aus der Luft in das Wasser oder auch in die Gläser eines Fernrohres. Ändern sich, wie hier, die Bedingungen sprungweise an bestimmten Stellen, so beschreibt die Lichtwelle eine gebrochene Linie; ändern sie sich beständig (kontinuierlich), so wird eine Linie beschrieben, die ihre Richtung in jedem Punkte ändert, d. h. eine krumme Linie; so in den Atmosphären der Erde und der Sonne (S. 94 und 314).

Stellt man sich die ganze erschütterte Reihe von Ätherteilchen vor, so kann man auch zum Begriffe der Wellenlänge kommen. Das zweite Teilchen wiederholt nämlich die hin und her gehende Bewegung des ersten, fängt jedoch etwas später an, noch später das dritte u. s. w. Man kommt zuletzt an ein Teilchen, sagen wir etwa, das elfte, welches mit dem ersten in derselben Schwingungsphase ist, d. h. seine Schwingung um die ganze Dauer eines Hin- und Herganges später beginnt als dieses und demzufolge genau dieselbe Verschiebung und dieselbe Geschwindigkeit in demselben Augenblicke besitzt. In gleichem Falle ist das 21. Teilchen, das 31. u. s. w., während das 2., 12., 22. u. s. w. unter sich in gleicher Phase sind. Die Entfernung zweier in gleicher Phase befindlichen Teilchen voneinander nennen wir die Wellenlänge.

Es giebt Ätherbewegungen von sehr verschiedener Art, solche mit verhältnismäßig großen und solche mit viel kleinern Wellen. Aber sie scheinen sich alle mit derselben Geschwindigkeit fortzupflanzen. Da nun während einer vollen Schwingung der Bewegungszustand um eine volle Wellenlänge fortschreitet, so ergiebt sich, daß in gleichen Zeiten den langwelligsten Strahlen die größten Schwingungszeiten, d. h. die kleinsten Anzahlen von Schwingungen etwa in einer Sekunde entsprechen.

Die Brechung der verschiedenen Lichtarten ist schon im 10. Kapitel (S. 88—89) besprochen worden. Die Empfindungen, welche die Strahlen verschiedener Wellenlänge und Brechbarkeit im menschlichen Organismus auslösen, geben wir als Farbenempfindungen an. Damit bringen wir ein subjektives, der Rechnung schwer unterziehbares Element hinein. Schärfer läßt sich jede einzelne Lichtart nach der Wellenlänge benennen, die man aus den hier nicht näher zu besprechenden Erscheinungen der Interferenz und Beugung bestimmen kann.

Nicht nur im Auge der Menschen und Tiere bewirken die verschiedenen Lichtarten verschiedene Änderungen. Sie lösen auch chemische Vorgänge in der Pflanze aus, die an das Sonnenlicht und sogar an bestimmte Farbenstrahlen gebunden sind.

Sie vermögen noch andere chemische Erscheinungen hervorzurufen, z. B. Silbersalze zu zersetzen. Hierauf beruht die Photographie, die sich in den letzten Jahren zu einem sehr mächtigen Hilfsmittel der Himmelskunde herausgebildet hat. Im allgemeinen ist die chemische (zersetzende, aktinische [1]) Wirkung der brechbareren kurzwelligen Strahlen größer als die der minder brechbaren von bedeutender Wellenlänge.

Eine dritte Wirkungsart der Strahlen nimmt dagegen mit der Brechbarkeit zwar im Anfange zu, später aber sehr merklich ab. Es ist die Erwärmung der getroffenen Körper. Die zitternden Ätherteilchen setzen die Molekeln des getroffenen Körpers in Schwingungen ähnlich denen, die sie selbst von der vielleicht sehr weit entfernten Lichtquelle her überbracht haben. Der Körper wird dadurch befähigt, auch seinerseits den Äther und damit die Molekeln anderer Körper wieder in Schwingungen zu versetzen. So erwärmt der sonnenbestrahlte Erdboden durch Leitung die über ihm lagernde Luft.

Ein gläsernes Prisma [2] setzt uns in den Stand, die einzelnen Lichtarten bequem zu trennen. In Fig. 103 mögen die beiden horizontalen Linien Strahlen bedeuten, die von einer nahezu punktförmigen weißen Lichtquelle herrühren. Gehen sie ungebrochen weiter, so rufen sie in D, einem Punkte auf der senkrecht zur Zeichenebene stehenden weißen Wand, ein Bild der Lichtquelle hervor, indem die Ätherwellen von dieser Wand zurückgeworfen werden. Wir denken dabei an eine rauhe Wand, die eine zerstreute (diffuse) Reflexion bewirkt, an Stelle der spiegelnden Zurückwerfung von glatten Flächen.

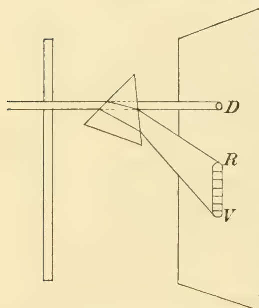


Fig. 103. Zerlegung des weißen Lichtes.

Nun wird in den Weg der Lichtstrahlen ein Körper eingeschaltet. Das Dreieck in der Mitte der Zeichnung denken wir uns nämlich senkrecht gegen diese um eine bestimmte Strecke bewegt. Wir haben dann ein gerades dreikantiges Prisma, das von zwei kongruenten dreieckigen Grundflächen und drei rechteckigen Seitenflächen begrenzt wird. Es zeigt sich nach Einschaltung dieses Körpers, der aus Glas bestehen möge, daß das weiße Licht, wie es von einem glühenden festen oder flüssigen Körper ausgesandt wird, nicht einfach ist, sondern aus sehr vielen Strahlengattungen von ganz verschiedener Brechbarkeit zusammengesetzt. Jede Gattung wird beim Eintritt in die erste Prismenfläche dem Einfallslote genähert und beim Austritte aus der zweiten vom Einfallslot entfernt. Durch beide Vorgänge wird das Licht zerstreut oder dispergiert. Die Strahlen treffen nun verschiedene Punkte der Wand, und wir erhalten hier eine farbig auseinandergezogene Linie anstatt des Punktes D, ein Spektrum [3] der Lichtquelle. Die am wenigsten abgelenkten Strahlen machen den Eindruck des roten Lichtes, es folgen die rotgelbe, nach der Orange benannte, dann die gelbe, die grüne und die blaue Färbung, zuletzt die veilchenblaue oder violette.

Die dritte, untere Prismenfläche ist, wie man sieht, an der Brechung unbeteiligt. Die ihr gegenüberliegende Kante nennen wir die brechende Kante.

Weitere Versuche zeigen, daß die einzelnen prismatischen Lichtarten zwar noch ablenkbar, aber nicht mehr zerlegbar sind. Denkt man sich als Lichtquelle nicht einen

---

[1] Von ἀκτίς, der Strahl. [2] Von πρίω, sägen: ein ausgesägter, behauener Körper.
[3] Das lateinische Wort bedeutet ganz allgemein eine auffallende Erscheinung.

Punkt, sondern eine zur brechenden Kante parallele Linie, so wird das Spektrum rechteckig, indem sich auf der Wand ein roter horizontaler Strich zeichnet, darunter ein gelber u. s. w. Das ist die gewöhnliche Form, die man dem Spektrum giebt. Man läßt das zu untersuchende Licht durch einen engen Spalt eintreten, der der brechenden Kante parallel ist. Anstatt des Punktbildes D würde man nun ein lineares Bild des Spaltes erhalten; anstatt des farbigen Striches R V erhält man ein System von lauter verschiedenfarbigen, verschieden abgelenkten Bildern des Spaltes. Es ist ferner leicht einzusehen, daß, wenn der Spalt eine merkbare Breite besitzt, die Bilder von verschiedenen Farben zum Teil übereinander fallen und sich gegenseitig wieder zu weißen Bildern zusammensetzen müssen. Es bleibt zuletzt nur oben ein roter und unten ein violetter Saum. Je enger der Spalt ist, desto besser trennen sich die einzelnen Farben. Das findet aber seine Grenze an der Wahrnehmbarkeit. Hat man sehr schwache Lichtquellen, z. B. Kometen, so muß man, auch wenn das Licht durch die Linsen eines großen Fernrohres möglichst reichlich aufgefangen ist, doch weitere Spaltöffnungen anwenden, als für die Ermittlung gewisser Einzelheiten wünschenswert ist.

Gerät ein fester Körper allmählich in immer stärkere molekulare Erschütterungen, so fängt er zuletzt an zu glühen. Er sendet dann neben der Wärme, die er schon lange abgab, auch noch Licht aus, oder besser ausgedrückt: die ziemlich langwelligen Strahlen, die er zuerst aussandte, machten auf unsere Netzhaut keinen Eindruck; wenn aber eine bestimmte, sehr kurze Wellenlänge erreicht ist, etwa 0,76 Milliontel Meter, dann sind die Ätherschwingungen im stande, die Netzhaut zu reizen und uns den mit Rot bezeichneten, an sich nicht weiter erklärbaren Eindruck zu machen. Das Spektrum war bis dahin unsichtbar, obwohl mit empfindlichen Wärmemeßwerkzeugen schon lange sein Vorhandensein festgestellt werden konnte. Jetzt tritt der erste rote Streifen auf. Der Körper, etwa ein Kohlenfaden im luftleeren Raume einer Glasbirne, werde nun durch äußere Gewalt, z. B. durch den elektrischen Strom, allmählich stärker erschüttert. Man sieht dann zu dem roten Streifen allmählich den orangefarbigen, den gelben u. s. w. treten, bis zuletzt, wenn der Körper in höchster Glut ist, auch die violetten Töne auftreten, jenseits deren man durch die Photographie noch einen langen Streifen verfolgen kann, der uns zeigt, daß die brechbarsten, kurzwelligsten Strahlen (Wellenlänge unter 0,4 Tausendstel Meter) die Netzhaut nicht mehr zu reizen vermögen.

Dieses zusammenhangende, kontinuierliche Spektrum kommt allen weißglühenden festen Körpern zu. Betrachten wir z. B. eine Weingeistflamme mit dem Spektroskop, einem Apparate, der durch geschickte Vereinigung mehrerer Prismen eine bedeutendere Lichtzerstreuung erzielt, dann sehen wir, von der geringern Stärke des Lichtes abgesehen, dasselbe zusammenhangende Farbenband wie beim Kohlenfaden des Glühlichtes oder beim glutflüssigen Eisen, das aus dem Konverter des Bessemer-Stahlwerkes tritt. Denn was in der Spiritusflamme leuchtet, das sind fein zerteilte feste Kohlenstäubchen, die sich durch Zersetzung des Alkohols gebildet haben und in der Flamme des gleichfalls entstehenden, aber gleich zu Wasserdampf verbrennenden Wasserstoffgases in helle Weißglut kommen, bis sie gleichfalls verbrennen.

Wirft man nun aber in den Weingeist eine Handvoll Küchensalz, so zeigt sich ein ganz neues Schauspiel. Die Flamme färbt sich unangenehm gelb. Machen wir den Versuch am dunkeln Abend, so wird uns der fahle Ausdruck in den Gesichtern der Umstehenden auffallen; wir werden auch bemerken, daß ein Blumenstrauß, ein Ölgemälde nur aus Gelb und Schwarz zu bestehen scheint. Das Spektroskop lehrt uns die Ursache kennen. Wir sehen nämlich noch das kontinuierliche Spektrum der weißglühenden Kohlenstäubchen; aber im gelben Teil strahlt eine scharfe gelbe Linie in sehr hellem Glanze, mit andern Worten: es entsteht ein besonders helles gelbes

Bild des linearen Spaltes; noch anders ausgedrückt: unter den uns zukommenden Ätherschwingungen überwiegen ganz bedeutend die von einer bestimmten Wellenlänge.

Stärker zerstreuende Spektroskope lösen diese Linie in zwei dicht zusammenstehende Parallellinien auf, woraus hervorgeht, daß wir es eigentlich mit zwei nicht ganz übereinstimmenden gelben Farbentönen zu thun haben.

Man erhält diese Linien noch schöner, wenn man Natriummetall in einer nichtleuchtenden Flamme verdampft. Das Kochsalz ist eine chemische Verbindung aus Chlor und Natrium, daher erklärt sich das Auftreten der Natriumlinie in der Weingeistflamme: der Weingeist hat das Salz aufgelöst und das Metall verflüchtigt sich in der heißen Flamme.

Die Dämpfe anderer Metalle geben andere helle Linien. Löst man z. B. im Weingeist etwas Chlorstrontium, wie man es durch Behandeln von Strontianit mit Salzsäure erhält, oder verdampft man metallisches Strontium, so zeigen sich mehrere Linien im Gelb und Rotgelb sowie eine Linie im Blau. Die Flamme färbt sich schön karminrot.

Es besteht also ein wesentlicher Unterschied im Leuchten der festen oder flüssigen Körper und in dem der Gase oder Dämpfe. Sind jene in höchster Glut, so senden sie Strahlen von allen möglichen Wellenlängen aus, keine einzige Unterbrechung ist nachzuweisen. Die Dämpfe aber senden nur Strahlen von ganz bestimmten Wellenlängen aus, erzeugen demzufolge nur einzelne farbige Bilder des Spektralspaltes, die durch lichtlose Zwischenräume getrennt sind. Glühende Dämpfe geben unzusammenhangende, diskontinuierliche Spektra oder Linienspektra.

Betrachtet man endlich eine sehr helle Lichtquelle von kontinuierlichem Spektrum, etwa ein elektrisches oder Auersches Glühlicht, durch zwischenliegende Natriumdämpfe von niedrigerer Temperatur hindurch, so zeigt sich eine höchst auffallende Erscheinung. Das kontinuierliche Spektrum ist noch da. Im gelben Teile aber, und zwar genau an derselben Stelle, wo uns vorhin die salzgetränkte Spiritusflamme die fahlgelbe Linie zeigte, ist nun das Spektrum unterbrochen, dieser fahlgelbe Farbenton fehlt gänzlich, an seiner Stelle steht eine schwarze Linie. Bei stärkerer Dispersion sind es zwei Linien, gerade wie vorhin. Und ersetzen wir den kühlen Natriumdampf durch kühlen Strontiumdampf, so fehlen in dem kontinuierlichen Spektrum gerade dieselben Linien, die uns aus der karminroten Strontiumflamme vorhin entgegenstrahlten.

Ein kühler Metalldampf hält von dem weißen Lichte, das ihm von einem leuchtenden festen Körper zuströmt, gerade diejenigen Strahlengattungen zurück, die er aussenden würde, wenn er selbst in hoher Glut wäre. Das ist die wichtige Gleichheit zwischen Emission und Absorption.

Um sie zu erklären, kann man sich eines Bildes bedienen. Ist eine Violinsaite auf einen gewissen Ton gestimmt, z. B. auf D, so wird sie mittönen, wenn derselbe Ton oder einer von seinen harmonischen Obertönen in der Nähe gesungen wird. Singt man dagegen C oder E, so wird sie schweigen. Die Luftwellen, welche dem D entsprechen und sich etwa 322mal in der Sekunde wiederholen, 'sind im stande, die Saite zu erschüttern, die geneigt ist, Schwingungen von derselben Zahl auszuführen; Luftschwingungen aber von längerer oder kürzerer Periode bringen das nicht fertig. Natürlich verlieren diese dann auch nichts von ihrer Energie an die Saite, während die D-Schwingungen notwendig abgeschwächt werden müssen.

Wir denken uns nun, daß in einiger Entfernung von uns ein Orchester ein Meer von Tönen erklingen läßt. Zwischen uns und dem Orchester ist eine Wand, die von lauter nebeneinander gespannten und auf D gestimmten Saiten gebildet wird. Diese werden alle Töne ungeschwächt durchlassen, nur D (nebst den verwandten Tönen)

wird bedeutend geschwächt, weil die zugehörigen Schwingungen fast ihren ganzen Energievorrat an die zahlreichen Saiten abgeben [1].

Setzen wir für die Saiten die Molekeln des Natriumdampfes, die zu ganz bestimmten Schwingungen geneigt sind; setzen wir für das Orchester, das die ganze Reihe der Töne in raschem Fluge durcheilt, die Molekeln eines festen Körpers, die Schwingungen von allen möglichen Perioden ausführen und an den Äther übertragen: so begreifen wir das Entstehen der Absorptionsspektra beim Durchgange weißen Lichtes durch kühle Metalldämpfe.

Es möge noch erwähnt werden, daß die diskontinuierlichen Spektra der glühenden Gase in ihrer Gestalt von dem Drucke und der Temperatur abhangen. Bei sehr hohem Drucke werden die Linien breiter, das Spektrum wird zu einem Bandenspektrum und nähert sich der kontinuierlichen Gestalt.

Auf der Möglichkeit, aus der Betrachtung der Spektra auf die chemische Beschaffenheit der Lichtquellen zu schließen, beruht die Spektralanalyse. Sie hat sich auf verschiedenen Gebieten des praktischen Lebens als eine nützliche Hilfswissenschaft erwiesen, beispielsweise in der gerichtlichen Chemie zur Erkenntnis der Spuren von Menschenblut. Ihre größten Triumphe feiert sie aber in der Aufdeckung der Beschaffenheit ferner Weltkörper.

* * *

Ehe wir zur Besprechung dessen übergehen, was uns die Spektralanalyse über den Zustand des Sonnenkörpers lehrt, ist es nötig, einer merkwürdigen Änderung zu gedenken, die die hellen und dunkeln Spektrallinien zuweilen erfahren. Beginnen wir mit zwei Bildern. Auf einem Wagen steht ein Mann, der ein entferntes Ziel mit Flintenschüssen zu treffen sucht. Er feuert genau einmal in der Minute. Wenn sich dann weder der Wagen noch das Ziel in der beiderseitigen Verbindungslinie bewegt, so trifft auch nach je einer Minute eine Kugel ein. Anders wenn sich der Abstand vergrößert oder verkleinert durch Bewegung des einen Gegenstandes oder beider. Ist das Ziel in Ruhe, und entfernt sich der Wagen von ihm mit einer Geschwindigkeit von drei Metern in der Sekunde, während die Geschosse in derselben Zeit 480 m zurücklegen, so wird das Ziel nicht genau von Minute zu Minute getroffen. War es bei einem Schusse x Meter entfernt, so kam das Geschoß nach $\frac{x}{480}$ Sekunden an; das folgende trifft nicht nur 60^s, sondern $60^s + \frac{180^s}{480}$ später ein, weil es von einem so viel entferntern Punkte ausgegangen ist [2]. Und wüßte man an dem Ziele, daß die Kugeln, vielleicht durch einen Mechanismus, von Minute zu Minute abgeschossen

[1] Man glaube nicht, daß die Saiten selbst das ausglichen; denn der von ihnen erzeugte Ton pflanzt sich ja auch nach der Seite und rückwärts fort, so daß von der uns ursprünglich zugedachten Energie nur der geringste Teil zu uns kommt.

[2] Die Bewegung des Wagens, die die Geschwindigkeiten von beiden nach rückwärts abgefeuerten Kugeln in gleicher Weise vermindert, fällt aus der Rechnung heraus.

würden, so könnte man aus der regelmäßigen Verspätung auf das Abrücken des Wagens schließen und bei sehr genauer Zeitmessung auch auf die Geschwindigkeit des Abrückens. Nähme man aber regelmäßige Verfrühungen wahr, so hätte man auf eine entsprechende Annäherung des Wagens daraus zu schließen. Es ist klar, daß bei ruhendem Wagen und bewegtem Ziele die Sache ähnlich ausfällt: eine Vergrößerung des Abstandes von Wagen und Ziel vergrößert die Zeiträume zwischen den einzelnen Schüssen; seine Verkleinerung verkleinert sie auch.

Wir stehen neben der Eisenbahn, und ein in vollem Laufe vorbeisausender Eilzug läßt die Dampfpfeife für längere Zeit in gleicher Höhe ertönen. Im Augenblicke der Vorbeifahrt nimmt ein geübtes Ohr ein plötzliches Sinken des Tones wahr, der dann auf der geringern Höhe bleibt, bis wir ihn nicht mehr hören können. Unser Ohr wurde nämlich, solange uns der Zug entgegenkam, von einer größern Anzahl von Luftstößen getroffen als die Ohren der Zuginsassen, die sich stets in derselben Entfernung von der Pfeife befanden, beim Abrücken aber von einer kleinern Zahl. Das Ohr verbindet mit der verkleinerten Wellenzahl die Empfindung eines tiefern Tones.

Was beim Schall die Tonhöhe ist, das ist beim Lichte die Farbe, die Brechbarkeit. Kommt uns die Lichtquelle näher, so wird unsere Netzhaut in gleichen Zeiten von einer größern Zahl von Ätherwellen getroffen; für das ruhende Auge ist damit die Wellenlänge verkleinert und die Brechbarkeit vergrößert, und nicht nur für das Auge, sondern für jeden ruhenden Körper, den die Wellen treffen, z. B. auch für die Prismen im Spektroskop. Das Abrücken der Lichtquelle wird die Wellenlängen aller Strahlen vergrößern, d. h. ihre Brechbarkeit vermindern, ihre Farbe von Violett nach Rot verschieben. Eine Bewegung des Beobachters wirkt in demselben Sinne.

Das ist, kurz erläutert, das Dopplersche Prinzip, dem wir bei der Betrachtung der Natur der Fixsterne noch mehrfach begegnen werden. Seine Anwendungen sind fast ganz auf die Astronomie beschränkt, weil nur diese mit Geschwindigkeiten rechnet, die sich halbwegs mit der des Lichtes vergleichen lassen. Allerdings wird man, wenn sich z. B. ein Eisenbahnzug von uns entfernt, behaupten dürfen, daß uns die rote Laterne des letzten Wagens nicht in ihrer wahren Färbung erscheint, sondern in einem etwas tiefern Tone. Da jedoch die Geschwindigkeit des Zuges, sagen wir 15 m, in der des Lichtstrahles 20millionenmal enthalten ist, so werden die Wellenlängen der einzelnen Strahlen nur um ihren 20millionensten Teil vergrößert. Das ist ein Betrag, der sich der wissenschaftlichen Messung entzieht und erst recht unter der Schwelle der Wahrnehmbarkeit für unsere Augen bleibt.

Anders bei den Bewegungen im Weltraume. Wir werden nachher erfahren, daß sich die Sonne um ihre Achse dreht, und daß ein Punkt ihres Äquators in $25^1/_2$ Tagen einmal herumkommt. Da nun der Radius der Sonne über 109mal, also über $4 \times 25^1/_2$mal größer ist als der der Erde, so ergiebt sich, daß ein Äquatorpunkt der Sonne über viermal so schnell läuft wie ein irdischer Äquatorpunkt, z. B. Quito. Man erhält ziemlich genau 2 km für seine Geschwindigkeit, also den 150 000sten Teil von der des Lichtes.

Nun dreht sich die Sonne in demselben Sinne um ihre Achse wie die Erde, nämlich gegen den Uhrzeigersinn für einen nördlichen Beobachter. Die einzelnen photosphärischen Gebilde scheinen sich also für einen solchen Beobachter auf der ihm jeweilig sichtbaren Sonnenhalbkugel von links nach rechts zu verschieben. Wo der Sonnenäquator den nachfolgenden[1] linken Rand schneidet, da liegen Gebilde, welche sich mit 2 km Geschwindigkeit auf den Beobachter hinbewegen; an dem diametral entgegengesetzten Punkte des vorausgehenden[1] Randes finden wir Gebilde, die mit derselben Geschwindigkeit von uns abrücken, während auf den übrigen Teilen der sichtbaren Sonnenscheibe mittlere Verhältnisse herrschen und ihr Centrum im ganzen in derselben Entfernung von uns verharrt[2]. Dadurch werden alle Ätherwellen, die vom vorausgehenden Rande zu uns kommen, in minder brechbare, alle vom nachfolgenden Rande herrührenden in brechbarere verwandelt, d. h. alles Licht von dort wird nach Rot, alles Licht von hier wird nach Violett verschoben. Auch hier sind nun die Verschiebungen so gering, daß sie unsern unbewaffneten Sinnen verborgen bleiben. Da wir jedoch im Sonnenlichte schwarze Spektrallinien antreffen, so werden diese nach dem Dopplerschen Prinzip Verschiebungen erleiden müssen, weil sie ja einen Lichtmangel darstellen und die benachbarten hellen Spektralgebiete gleichmäßig verschoben werden, am vorausgehenden Rande sämtlich nach Rot, am nachfolgenden sämtlich nach Violett. Zum Herstellen von Lichtzerstreuungen, die solche immerhin noch sehr geringen Verschiebungen erkennen lassen, bedient man sich statt der Prismen mit Vorteil der Beugungsgitter, die namentlich von Rowland neuestens mit erstaunlicher Feinheit hergestellt werden[3].

---

[1] Vgl. S. 257.

[2] Die Änderung, welche von der Excentricität der Erdbahn herrührt, kann man, wenigstens für eine erste Betrachtung, vernachlässigen.

[3] Das metallische Beugungsgitter von Brashear in Alleghany, dessen sich Dunér bei seinen Arbeiten über die Sonnenrotation bediente, ein Wunderwerk der Technik, enthält auf einer Breite von 81 mm nicht weniger als 46 000 feine Linien von 53 mm Länge. Die Dicke solcher Linien läßt sich vielleicht mit der der feinern Diatomeenrippen vergleichen. In betreff der Theorie der Beugung müssen wir wieder, um die uns gesteckten Grenzen nicht zu überschreiten, auf die Lehrbücher der Physik hinweisen.

Auch nimmt man die Spektra photographisch auf. Diese Spektrographie hat namentlich unsere Kenntnisse von den Fixsternen ganz erheblich bereichert.

* * *

Das Spektrum der Sonne ist im ganzen kontinuierlich, zeigt sich aber durchzogen von einer sehr großen Menge schwarzer Linien, die man nach dem berühmten Optiker, der sich zuerst eingehender damit beschäftigt hat, die Fraunhoferschen Linien nennt. Die Anzahl der genauer bekannten Linien beträgt vielleicht 15 000. Die bedeutenderen treten schon bei mäßiger Zerstreuung hervor.

Will man aus diesen Linien Schlüsse auf die Natur des Sonnenkörpers ziehen, so darf man nicht vergessen, daß das Licht eine bedeutende Absorption in der Erdatmosphäre erleidet. Wir haben gehört, daß kontinuierliche Spektra von Absorptionslinien durchzogen werden, wenn die Lichtstrahlen, ehe sie zum Beobachter dringen, durch kühlere Dämpfe gehen müssen. Es wäre also möglich, daß diese vielen tausend Linien lediglich der Absorption in der Atmosphäre des Erdballs verdankt würden.

Nun kann man das Sonnenspektrum unter ganz verschiedenen Bedingungen beobachten: bei hohem Sonnenstande in allen geographischen Breiten und Meereshöhen, überall auch bei niedrigem Sonnenstande, selbst in der Morgen- und Abenddämmerung, da es keineswegs nötig ist, die Sonne selbst zu beobachten, vielmehr hinreichend und manchmal auch bequemer, zurückgeworfenes Sonnenlicht zu wählen, das Spektroskop z. B. auf eine helle Wolke, auf die Schneedecke oder das Dämmerungssegment zu richten. Da zeigt sich nun, daß gewisse Linien, weitaus die Minderzahl, in der Dämmerung und überhaupt bei tiefem Sonnenstande sehr deutlich hervortreten, daß sie schwächer werden, je höher der Sonnenball steigt, und daß sie auf Hochgebirgsstationen eine weitere Schwächung erfahren. Die erdrückende Mehrzahl der Linien bleibt aber davon unberührt. Offenbar kommen jene ersterwähnten Linien durch die Absorption in der Erdatmosphäre zu stande; es sind die atmosphärischen Linien. Die andern aber müssen wir dem Sonnenspektrum selbst zuschreiben.

Unter den Linien, die zweifellos der Sonne selbst angehören, tritt eine oder vielmehr ein Linienpaar stets mit großer Deutlichkeit hervor. Dieses Linienpaar, mit D, oder genauer mit D_1 und D_2 bezeichnet, findet man genau an derselben Stelle, wo auch die Absorption durch Natriumdämpfe ein solches Linienpaar hervorrufen würde, und wo glühende Dämpfe desselben Metalls ein gelbes Linienpaar entstehen lassen. Es giebt Spektroskope, die die Spektra der Metalldämpfe und der Sonne gleichzeitig zu betrachten gestatten, indem die eine Lichtquelle veranlaßt wird, ihre Strahlen auf Um-

wegen, etwa durch Reflexion, in das Spektroskop zu senden. Die absolute Übereinstimmung tritt dann deutlich hervor.

Noch mehr. Der Natriumdampf besitzt noch eine Anzahl anderer ihm eigentümlicher Linien. Seine Molekeln sind eben geneigt, ganz bestimmte Schwingungen auszuführen und dem Äther mitzuteilen. Außer den Linien D_1 und D_2 finden wir noch (mindestens) sieben weitere, weniger auffallende, im Sonnenspektrum wieder, und je mehr man die Meßwerkzeuge vervollkommnet, desto schöner tritt die Übereinstimmung hervor.

Der Schluß, daß in der Sonnenatmosphäre Natriumdämpfe enthalten sind, welche, kühler als die Photosphäre, das von ihr entsandte Licht, soweit es die ihnen sympathischen Wellenlängen besitzt, absorbieren, drängt sich hier mit zwingender Gewalt auf. Fragt man, warum denn nicht alle Natriumlinien im Sonnenspektrum wiederzufinden sind, so ist zu antworten, daß sich die Spektra der Metalldämpfe nach Druck und Temperatur ändern, daß man nicht im stande ist, im Laboratorium die auf der Sonne herrschenden Zustände wiederzugeben, und daß gerade darum die so genaue Übereinstimmung einer auch nur mäßigen Linienzahl als zwingender Beweis gelten darf.

Besonders wichtig sind vier genau bestimmte Linien H_α, H_β, H_γ, H_δ. Sie werden nach dem Wasserstoff (H, Hydrogenium) benannt, dem sie eigentümlich sind. Auch sie finden wir als dunkle Fraunhofersche Linien wieder, und wir schließen daraus, daß die Sonnenatmosphäre auch Wasserstoff enthält.

So ist man weitergegangen und hat nachgewiesen, daß eine sehr große Anzahl der uns bekannten chemischen Elemente in Dampfform in der heißen Lufthülle der Sonnenkugel enthalten ist. Wir geben nachstehend eine Übersicht dieser Elemente und fügen die Anzahl der identifizierten Linien bei. Für Eisen und Natrium bezeichnen die Angaben, daß wahrscheinlich noch mehr Linien im Sonnenspektrum wiederzufinden sind [1].

Eisen	> 1150	Vanadium	118	Scandium	14
Kohlenstoff	574	Zirkonium	94	Barium	11
Chrom	408	Calcium	75	Magnesium	11
Titan	394	Lanthan	50	Natrium	> 9
Nickel	225	Cerium	32	Silicium	9
Mangan	214	Yttrium	19	Strontium	8
Kobalt	178	Neodymium	14	Palladium	5

[1] Die Tafel geben wir nach Wislicenus' Zusammenstellung in Valentiners Handwörterbuche der Astronomie (Breslau, Trewendt). — Rowland, der die Spektra der meisten Elemente photographiert hat, nimmt noch viel mehr als nachgewiesen solar an, hat aber Widerspruch gefunden.

Wasserstoff . .	5	Zink	3	Kalium . . .	2
Molybdän . . .	4	Aluminium . .	2	Silber	1
Blei	3	Cadmium . . .	2	Thallium . . .	1
Uran	3	Indium . . .	2	Wolfram . . .	1

Hierzu ist neuestens das Helium getreten, worüber wir nachher noch sprechen werden; es wird nicht durch dunkle, sondern durch helle Linien vertreten [1].

Die an sich ungemein große Anzahl der Eisenlinien bewirkt im Sonnenspektrum die überraschend große Zahl von Übereinstimmungen oder Koincidenzen und liefert uns darum einen geradezu erdrückenden Beweis für das wirkliche Vorhandensein von Eisendampf in der Lufthülle unseres Centralgestirnes.

Wie entsteht nun das kontinuierliche Spektrum, das doch ursprünglich vorhanden ist und nur beim Durchgange der Strahlen durch die Sonnenatmosphäre die angegebenen Unterbrechungen erfährt? Es geht offenbar von der Photosphäre aus. Was ist also die Photosphäre?

Pflichten wir der Ansicht bei, die bei den Astrophysikern die herrschende geworden ist, seitdem man sich von der Unrichtigkeit der nach Herschel und Wilson benannten Meinung überzeugt hatte, so haben wir keine Schwierigkeiten. Glühende flüssige und feste Körper geben kontinuierliche Spektra. Sind die Granulationen der Photosphäre etwas Wirkliches, sind es wolkige Gemische von luftförmigen, flüssigen, vielleicht auch einzelnen festen Bestandteilen, so muß das Spektrum in derselben Weise wie beim Erglühen des Kohlenfadens unserer elektrischen Lämpchen zu stande kommen, und es tritt dann die Absorption in der Sonnenatmosphäre hinzu [2].

Die Schmidtsche Theorie hält den scharf begrenzten Sonnenrand für eine optische Täuschung und nimmt an, daß der umfangreiche Himmelskörper durch und durch im gasigen Zustande ist. Da jedoch die innersten Schichten unter unbegreiflich hohem Drucke stehen und die Druckzunahme die Spektra der glühenden Gase verbreitert, so gelingt es auch dieser Theorie, vielleicht aber nicht ohne größere Schwierigkeiten, die spektralen Ergebnisse in ihrem Sinne zu erklären.

Die Chromosphäre besitzt, gleich den aus ihr emporschießenden Protuberanzen, das Spektrum des glühenden Wasserstoffes. Man konnte sie anfangs

---

[1] Die Linienspektra der Dämpfe von einigen dieser Metalle findet man auf der Spektraltafel wiedergegeben, die in Münchs Physik und in Jakobs Werk, Unsere Erde (beide aus dem Herderschen Verlage in Freiburg), enthalten sind.

[2] Die Leuchtkraft der mit den photosphärischen Elementen vermengten Gase verschwindet gegenüber der von diesen selbst erzeugten Lichtmenge und kann keinesfalls den später durch die Absorption entstehenden Verlust ersetzen.

nur bei totalen Finsternissen beobachten, hat jedoch später ein Mittel gefunden, sie jederzeit zu sehen. Der Spalt des Spektroskopes wird tangential auf den Sonnenrand eingestellt, wodurch man dann bald einen schmalen Streifen der merkwürdigen Schicht zu beobachten im stande ist. Es zeigen sich nun dieselben Linien $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$, die im Spektrum der Granulationen dunkel sind, als helle Linien — eine schöne Bestätigung für die wirkliche Existenz dieses chemischen Elementes auf der Sonne.

Indessen war hierbei etwas unerklärlich. Außer den Wasserstofflinien zeigte sich im chromosphärischen Spektrum immer noch eine Linie, die man nicht unterbringen konnte, weil sie keinem bekannten Elemente angehörte. Da sie etwas rechts (d. h. nach der Seite größerer Brechbarkeit) von D_2 liegt, nämlich etwa $2^1/_2$mal so weit von dieser Linie entfernt wie nach der andern Seite D_1, so wurde sie D_3 genannt (vgl. Fig. 104, S. 331). Sie hat aber mit dem Natriummetalle, dem, wie wir wissen, D_1 und D_2 angehören (nebst sieben feinern zwischenliegenden dunkeln Linien), gar nichts zu thun, und sie tritt auch nicht als schwarze Absorptionslinie im Spektrum der Photosphäre, sondern eben nur als helle in dem der Chromosphäre auf.

Schon der römische Astrophysiker P. Secchi war der Ansicht, daß diese Linie D_3 auf ein hienieden noch unbekanntes Element hinweise, das sich, von derselben oder noch größerer Leichtigkeit wie der Wasserstoff, gleich diesem in glühendem Gaszustande über die Photosphäre erhebe. Frankland schlug für diesen Stoff den Namen Helium vor, mit Rücksicht auf den griechischen Namen der Sonne.

Andere mühten sich ohne Erfolg ab, die Linie D_3 als Wasserstofflinie nachzuweisen, indem sie den Wasserstoff unter verschiedenen Verhältnissen zum Glühen brachten, in der Hoffnung, neben den wohlbekannten andern Linien zuletzt auch jene aufblitzen zu sehen.

Da fand Ramsay bei der Untersuchung des seltenen Minerals Cleveït[1] ein neues Gas auf, in dessen Spektrum die D_3 sehr hell und schön auftrat. Bei stärkerer Zerstreuung stellte sie sich als Doppellinie heraus. Runge und Paschen in Hannover untersuchten das Spektrum des Cleveïtgases genauer und bestimmten darin noch eine Anzahl weiterer Linien. Da inzwischen auch im Chromosphärenspektrum die D_3 als Doppellinie erkannt wurde, deren Bestandteile mit denen im Spektrum des neuentdeckten Gases genau zusammenfielen, und da ferner Belopolski in den Protuberanzen noch einige andere Linien des Cleveïtgases nachwies, so stand damit fest, daß wirklich das lange gesuchte Helium gefunden war. Das Gas gehört der

[1] Der Cleveït findet sich zu Garta bei Arendal in Norwegen; er besteht, vom Helium abgesehen, aus Uranoxydoxydul, Yttriumerde, Erbiumsesquioxyd, Bleioxyd, Ceriumoxyd, Thoriumoxyd, Eisenoxyd und Wasser.

Erde an wie der Sonne; weitere Versuche haben gezeigt, daß es in dem Cleveït und einigen andern Mineralien, wie man sich auszudrücken pflegt, als umschlossenes (occludiertes) Gas, nicht etwa als chemischer Bestandteil enthalten ist. Durch die Luftpumpe ausziehbar, läßt es sich nachher nur durch sehr starken Druck den Mineralien einpressen, muß also früher unter ganz besondern Umständen hereingekommen sein.

Wie kommt es, wird mancher mit der Chemie vertraute Leser fragen, daß mehrere Elemente, die hinieden zu den wichtigsten und verbreitetsten zu zählen scheinen, auf der Sonne gar nicht nachgewiesen sind? Wo bleibt der Sauerstoff, jenes Allerweltselement, das sich fast mit allen andern verbindet? wo bleibt der Stickstoff, aus dem unsere Atmosphäre zum größten Teile besteht? wo der Kohlenstoff, dessen vielgestaltige Verbindungen die Trägerinnen des reichsten organischen Lebens sind? Eine bestimmte Antwort darauf zu geben, ist noch nicht möglich. Was den Sauerstoff angeht, so werden die Behauptungen von beobachteten Koincidenzen immer wieder bestritten. Wir finden im Sonnenspektrum die Absorptionslinien des Sauerstoffes, aber da sie sich nach dem Sonnenstande ändern, scheinen sie in der Hauptsache der Erdatmosphäre anzugehören. Übrigens muß doch betont werden, daß sie nicht so auffallend von den irdischen Bedingungen abhängen, wie z. B. die jedenfalls rein atmosphärischen Wasserdampflinien. Allerdings müssen diese veränderlicher sein, da der Wasserdampf nur den tiefern Luftschichten angehört. Andererseits ist aber mehrfach beobachtet worden, daß die auf den Sauerstoff zurückzuführende Liniengruppe a im roten Teile des Farbenbandes bei der Betrachtung von Sonnenflecken besonders dunkel erscheint, woraus hervorgehen würde, daß wenigstens über den Flecken eine größere Sauerstoffmenge zu finden wäre. Ferner haben Versuche gezeigt, daß in dem Spektrum eines glühenden Gasgemenges die metallischen Linien überhaupt am stärksten hervortreten und die der Nichtmetalle fast völlig verdrängen können. Ein merkwürdiges Beispiel hierfür liefert der Kohlenstoff. Im Gegensatze zu dem elektrischen Glühlicht, wo ein Kohlenfaden im luftleeren Raume ein reines, kontinuierliches Spektrum liefert, entsteht bei den verbrennenden Kohlenstäben unserer Bogenlampen durch Absorption in dem teilweise verdampften Kohlenstoff ein von mehreren breiten Banden[1] durchzogenes Farbenbild. Im Jahre 1896 ließ Trowbridge Leuchtstäbe aus eisenhaltigem Kohlenstaube pressen; der Eisengehalt betrug 28 %. Im Spektrum des Lichtbogens traten nun die Eisenlinien auf, welche die breiten Kohlenstoffbanden völlig verdeckten. Hiernach ist es möglich, daß Kohlenstoff in der solaren Lufthülle vorkommt, und dasselbe mag von andern Nichtmetallen gelten. Was die

[1] In Anlehnung an das Französische nennt man die dunkeln breiten Bänder in vielen Spektren „Banden“.

Metalle angeht, so fehlt für mehrere Edelmetalle von hohem specifischen Gewichte jedes sichere Anzeichen für eine Koincidenz. Sie mögen sich in sehr tiefen Schichten des Himmelskörpers finden. Quecksilber, Platin und Iridium sind nicht nachweisbar, nicht einmal das Gold, das auf Erden viel mit der Sonne verglichen wird und bei den alten Mineralogen sogar dasselbe Zeichen ⊙ trug.

* * *

Wir sehen also, daß sich auf der Sonne ganz dieselben Stoffe wie auf der Erde finden; fast für die halbe Anzahl der chemischen Elemente ist der Beweis in aller Strenge geliefert. Allerdings eigentlich nur der Beweis, daß ihre abgekühlten Dämpfe in der Atmosphäre der Sonne vorkommen. Bei der Heftigkeit der Bewegungen aber, die beständig die Oberfläche der Sonne erschüttern, ist es klar, daß im wesentlichen dieselben Stoffe es sein müssen, die die photosphärische Wolkenschicht und auch das Innere zusammensetzen, nur in verschiedenen Aggregatzuständen und vielleicht mit einer ge-

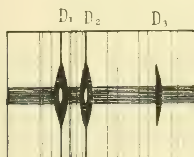


Fig. 104. Erscheinungen im Spektrum der Sonnenflecken I.

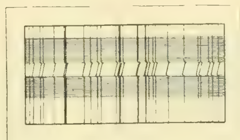


Fig. 105. Erscheinungen im Spektrum der Sonnenflecken II.

wissen Schichtung nach dem specifischen Gewichte, die jedoch ein fortwährendes Auf- und Abströmen nicht ausschließt.

Die spektrale Beobachtung der Sonnenflecken hat noch manche merkwürdige Thatsachen ergeben. Über die Flecken sieht man im Fernrohr zuweilen rosenfarbige Schleier gebreitet; es sind Protuberanzen, die man vor der glänzenden Photosphäre nicht sehen kann, wohl aber vor dem lichtschwächern Flecken. Dann sieht man im Fleckenspektrum die Wasserstofflinien hell, auch wohl in andern Fällen, wo das Fernrohr den roten Schleier nicht sehen läßt. Diese „Umkehrung“ hat man aber auch an andern Linien beobachtet. Wollen wir unsere Fig. 104 und 105 richtig deuten, so haben wir zunächst zu bedenken, daß der Spalt des Spektroskops auf den Flecken gerichtet war, seine beiden Enden jedoch bereits wieder zur hellen Photosphäre. Hier sehen wir denn auch die dunkeln Linien auf dem hellen Grunde, nämlich D_1 und D_2 mit den zwischenliegenden, gleichfalls dem Natrium zugehörenden Linien, und einige andere. Über dem Fleck, also durch die Mitte des Spektralspaltes, sieht man D_1 und D_2 stark verbreitert, ein

Beweis dafür, daß die Höhlung mit einer sehr dicken Schicht von kühlen Natriumdämpfen erfüllt war. Aber gerade mitten über dem Fleck ruhte auf dem schweren kühlen Gase eine durch ihre Leichtigkeit emporgedrungene glühende Schicht, und so erschienen die Linien hier wieder hell.

Die Anwendung des Dopplerschen Prinzips auf die Sonnenflecken wird uns Fig. 105 erläutern. Der Spalt war auf zwei Flecke gerichtet, die durch eine sogen. Lichtbrücke verbunden waren. Auf dem Bilde, das das Spektrum in der Nähe der Linie b (im Grün) wiedergiebt, sehen wir also von oben nach unten der Reihe nach, die Spektra 1. der Granulation, 2. des größern Fleckes, 3. der Lichtbrücke, 4. des kleinern Fleckes, 5. der Granulation. Es zeigen sich die in 1. und 5. scharfen Linien in 2. und 4. verbreitert, jedenfalls wieder infolge einer Anhäufung des absorbierenden Gases (hier Wasserstoff).

Im Abschnitte 3. zeigen sich die Linien geknickt; sie sind, wie man sich durch Anlegen eines guten Lineals überzeugen kann[1], alle desto weiter nach rechts, d. h. nach der brechbareren Seite verschoben, je mehr man sich auf der Lichtbrücke dem größern Fleck nähert. Daraus folgt nach Dopplers Prinzip, daß die Sonnenmasse in diesem Gebiete in aufsteigender Bewegung begriffen ist, und zwar in desto schnellerer, je näher man dem großen Flecken kommt. An dessen Grenze erreicht sie, wie die Rechnung zeigt, die Geschwindigkeit von 40 km in der Sekunde. Ähnliche Geschwindigkeiten kommen bei den Protuberanzen vor. In Fig. 106 ist wieder das Spektrum in der Nähe von F (oder H_β) dargestellt. Der untere Rand stellt das gewöhnliche Photosphärenlicht dar, worin F als schwarze Absorptionslinie erscheint. Darüber sieht man in dem schattierten Raume dieselbe Linie hell und seltsam verkrümmt im Spektrum einer Protuberanz zum Beweise, daß hier der leuchtende Wasserstoff in der einen Hälfte auf- und in der andern niedersteigt[2].

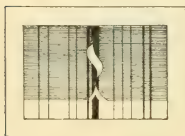


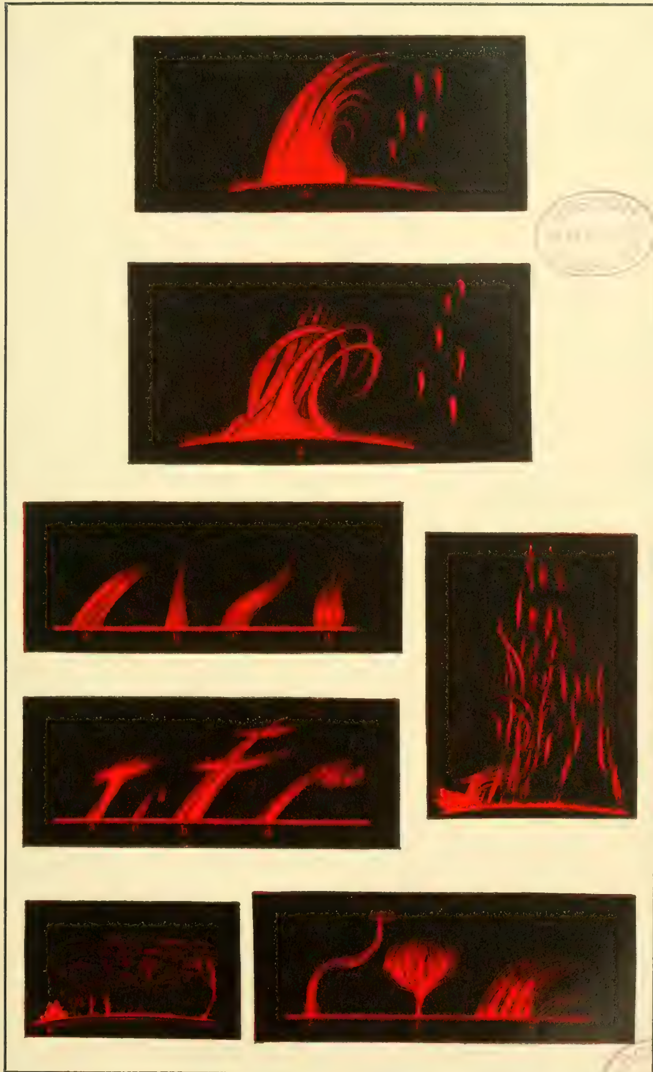
Fig. 106. Erscheinungen im Spektrum einer Protuberanz.

In Fig. 107 sind verschiedene typische Protuberanzengestalten dargestellt. Es sei dem Leser überlassen, durch Vergleich mit dem auf einigen der Bilder erkennbaren Sonnenumrisse die erstaunliche Größe dieser rasch veränderlichen Gebilde zu bestimmen.

Das bei totalen Sonnenfinsternissen zu beobachtende Spektrum der Corona enthält auf ziemlich lichtstarkem kontinuierlichem Grunde die heller hervortretenden Linien des Wasserstoffes sowie eine helle grüne Linie, die auch im

[1] Man würde sonst einer Täuschung verfallen, die leicht eintritt, wenn ein Linienzug durch ein Hindernis unterbrochen erscheint.

[2] In der Deutung der drei letzten Bilder schließen wir uns Wislicenus an (vgl. Valentiner, Handwörterbuch der Astronomie).



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 332.

Fig. 107. **Verschiedene Sonnenprotuberanzen.**

Chromosphärenspektrum vorkommt, einer Eisenlinie sehr nahe liegt, aber zweifellos nicht mit dieser identisch ist und vorläufig einem noch zu entdeckenden Stoffe Coronium zugeschrieben wird. Die stärksten dem Photosphärenspektrum eigenen dunkeln Linien sind im Coronaspektrum nur ganz schwach zu sehen, die andern gar nicht. Das Coronalicht kann daher nur zum geringsten Teile reflektiertes Sonnenlicht sein; das meiste wird von eigenen festen Teilchen herrühren. Die Corona hätte hiernach ein rauch- oder flammenartiges Gefüge, sie bestände aus festen Teilchen, die in glühendem Wasserstoff (und Coronium) aufleuchten.

* * *

Mehrfach bereits haben wir der Sonnenflecken gedacht. In den Ruhm der ersten Entdeckung und Bekanntgebung dieser Gebilde teilen sich[1] etwas ungleich der friesische Arzt Johann Fabricius, der schwäbische Jesuit Christoph Scheiner, der große italienische Physiker Galileo Galilei und der Engländer Th. Harriot. Von diesen hat jedenfalls Fabricius die Flecken schon im Dezember 1610 entdeckt und in einem Buche, dessen Vorrede vom 13. Juni[2] 1611 datiert ist, als solare, in gemeinsamer Rotationsbewegung befindliche Gebilde beschrieben. Unabhängig von ihm entdeckte Galilei die Flecken schon im Sommer 1610, ließ sich jedoch, da er die Wichtigkeit des Fundes nicht erkannte und ihn auch im folgenden Jahre verschwieg, die Palme entreißen. Scheiner hatte die Flecken erst im Frühjahre 1611 gesehen und noch einige Jahre später an der unrichtigen Ansicht festgehalten, daß es von der Sonne getrennte, um sie kreisende Körper seien. Dagegen bleibt ihm das hohe Verdienst, durch eine sehr vollständige Beobachtungsreihe zum ersten Male die Lage der Rotationsachse der Sonne und ihre Drehungsgeschwindigkeit ermittelt zu haben. Seine Ergebnisse veröffentlichte er im Jahre 1630 in dem großen Werke „Rosa ursina“. Seltsamerweise hat Harriot die Flecken ziemlich genau (bis auf wenige Tage), gleichzeitig mit Fabricius entdeckt, sich aber, gleich Galilei, durch Zaghaftigkeit zurückhalten lassen, die Sache rechtzeitig mitzuteilen. In seinem Vaterlande, und erst recht auf dem Kontinent, blieben deshalb seine Wahrnehmungen lange Zeit unbekannt.

Wir sehen hier, wie so oft in der Geschichte der Wissenschaften, daß mehreren fleißigen Arbeitern gleiche Früchte vom Erkenntnisbaume auf einmal zufallen, wenn die Jahreszeit die Reife gebracht hat In diesem Falle war

---

[1] Von ältern chinesischen und peruanischen Aufzeichnungen sehen wir hier ab. Vermutlich werden fast bei jedem Sonnenfleckenmaximum einzelne größere Flecken auch von Laien mit unbewaffnetem Auge gesehen und dann mehr oder weniger richtig gedeutet.

[2] „Idibus Iunii.“

es die Erfindung des Fernrohres, die zwar nicht erst das Sehen überhaupt, jedoch zweifellos das wissenschaftliche Sehen ermöglichte. Von der Natur der Flecken haben wir vorhin einiges gehört: es sind jedenfalls Gebiete mit vermehrter Lichtabsorption, vielleicht auch mit etwas verminderter Emission, in denen lebhafte, ja stürmische Bewegungen stattfinden: seitliche Bewegungen, die das Fernrohr aufdeckt, und Bewegungen in der Gesichtslinie, im „Visionsradius", die die Spektrographie nach dem Dopplerschen Gesetze enthüllt. Den ältern Beobachtern waren sie zunächst als Mittel zur Ableitung der Rotationselemente willkommen.

Die Flecken entstehen und vergehen, und zwar bald auf der uns zugewandten, bald auf der abgewandten Seite. Durch die Achsendrehung werden sie auf jener von links nach rechts geführt, wie vorhin erläutert. Das astronomische Fernrohr kehrt das Sonnenbild um, so daß nun der Anblick entsteht, den auf der Südhalbkugel das unbewaffnete Auge hat: der Südpol der Sonne steht oben, und die Flecken gehen von rechts nach links.

Wie sich die Lage der Rotationsachse eines Himmelskörpers ermitteln läßt, ist im 17. und 20. Kapitel (S. 204—205; 260—261) auseinandergesetzt worden. Die Sonne ist ein langsam rotierender, darum auch nicht merkbar abgeplatteter Körper. Sie befolgt das Gesetz, das wir schon bei der Erde, dem Monde und dem Mars bestätigt gefunden haben. Die Achse bleibt zu einer festen Linie fortwährend parallel und die Äquatorebene zu einer festen Ebene. Wir werden uns später (im 33. Kapitel) mit der Frage zu beschäftigen haben, ob die Sonne stillsteht oder vielleicht mit ihrer Planetenfamilie gemeinsam durchs Weltall wandert. Im ersten Falle bleiben Achse und Äquatorebene an bestimmte Lagen gebunden, im zweiten erfahren sie Parallelverschiebungen im Raume. Für uns Erdenbewohner wird im zweiten Falle die Verschiebung nicht in Betracht kommen, weil wir sie mitmachen.

An jedem Tage, wo wir die Sonne sehen, nehmen wir eine geringe gemeinsame Verschiebung aller Flecken wahr. Der Durchmesser der Sonnenscheibe, welcher auf der Richtung dieser Verschiebungen senkrecht steht, also mit dem Beobachter und der wahren Sonnenachse in einer Ebene liegt, gehört einem Hauptkreise der Sphäre an; alle diese an den verschiedenen Tagen des Jahres konstruierbaren Hauptkreise gehen durch zwei Punkte der Sphäre, deren nördlicher die astronomische Länge[1] 350°, die Breite[1] 83° hat; der südliche hat also 170° Länge und — 83° Breite. Rechnet man auf RA und Decl um, so findet man, daß der nördliche ein Punkt im Drachen ist. Auf diesen weist also das Nordende der Sonnenachse. Demzufolge liegt der aufsteigende Knoten[2] der Äquatorebene der Sonne auf der Ekliptik in 80° Länge, der niedersteigende in 260°, und die Neigung beträgt 7°. Be-

[1] Die Begriffe sind S. 67—68 erklärt. [2] Vgl. S. 105.

trägt die heliocentrische Länge der Erde[1] 260° oder 80°, was am 10. Juni und am 10. Dezember zutrifft, so sind wir in der erweiterten Ebene des Sonnenäquators, müssen daher, weil die Größe der Sonne im Vergleich zu ihrem Abstande gering ist, deren Parallelkreise, also auch die scheinbaren Fleckenbahnen, als gerade Linien sehen, wie Fig. 108 b und d anzeigt, wo die Neigung der im Bilde beiderseits aus der Kugel hervorragenden Sonnenachse gegen die Ekliptikalachse NS etwas übertrieben ist. Natürlich sehen wir das nördliche Ende im Dezember nach links, im Juni nach rechts geneigt, weil wir dann auf der andern Seite der Sonne stehen. Zu andern Zeiten sehen wir die Parallelkreise als flache Ellipsen, die im März (a) nach Norden, im September (c) nach Süden konvex sind, weil uns das eine Mal der Südpol, das andere Mal der Nordpol zugewandt ist. Dreht man die Figur um, so hat man die Verhältnisse, wie sie das umkehrende Fernrohr oder die Versetzung auf die Südhalbkugel der Erde zuwege bringt[2].

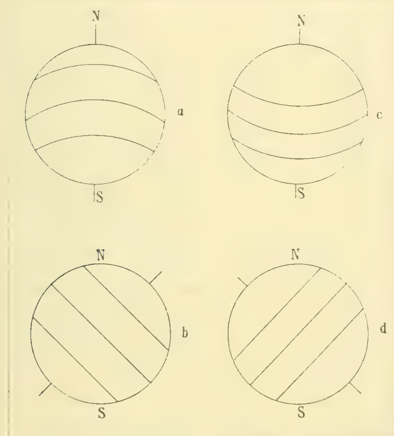


Fig. 108. Rotationssehnen der Sonne zu verschiedenen Jahreszeiten.

Durch den jährlichen Umlauf der Erde wird die Sonnenrotation in der früher (S. 261) angegebenen Weise scheinbar verlangsamt. Die Verbesserung, die sich hieraus für die beobachteten Rotationen ergiebt, als bereits vollzogen ansehend, gehen wir zu den Ergebnissen der Fleckenbeobachtungen für die Rotationsgeschwindigkeit über.

Man kann solche Beobachtungen nicht in allen heliographischen Breiten[3] anstellen. Denn die Flecken bilden sich der Regel nach nur in einem begrenzten Gebiete, etwa zwischen den Parallelkreisen, die nach Norden und Süden 40° vom Sonnenäquator abstehen. Es hat sich die eigentüm-

[1] Vgl. S. 233.

[2] Die wechselnde Neigung der Ekliptik zum Horizonte bewirkt noch, daß uns die Sonnenachse gleichfalls in sehr verschiedenen Neigungen zum Horizonte erscheint. So kommt es denn, daß morgens die Flecken manchmal ganz anders zu stehen scheinen als abends.

[3] Der Ausdruck, eine Übertragung des Begriffes der geographischen Breite, ist sofort verständlich.

liche Thatsache ergeben, daß die aus den Flecken bestimmte Rotationsdauer desto größer wird, je weiter man vom Äquator nach Norden oder Süden geht. Flecken, die ausnahmsweise jenseits der angegebenen Parallelkreise auftraten, bestätigten die Verlangsamung.

Die Rotation läßt sich auch aus den Fackeln bestimmen, und merkwürdigerweise scheinen sich dadurch geringere Abweichungen zu ergeben als aus den Flecken. Infolgedessen hat man eine Zeitlang geglaubt, die Photosphäre rotiere in allen Breiten mit gleicher Geschwindigkeit, wie die Erdkugel und andere starre Körper, und die an den Flecken beobachtete Breitenverzögerung beruhe auf Eigenbewegungen dieser Gebilde. Da untersuchte Dunér in Upsala die Rotation der Photosphäre spektrographisch nach dem Dopplerschen Prinzip, also durch Ausmessung der Linienverschiebungen im Sonnenspektrum, die auf der vorangehenden Seite, wo die Flecken von uns abrücken, nach Rot, auf der nachfolgenden nach Violett gerichtet sind. Er fand im ganzen ähnliche Schnelligkeiten, wie sie aus den Fleckenbeobachtungen hervorgehen. Diese Übereinstimmung ist als wichtiger Beweis für die Richtigkeit jenes Prinzips anzusehen, der uns auch zu dessen anderweitigen Anwendungen Vertrauen einflößen muß. Dunér konnte seine Bestimmung, die ja nicht an das Vorhandensein von Flecken geknüpft war, bis in sehr hohe heliographische Breiten fortsetzen, bis zuletzt das Kleinerwerden der Parallelkreise und auch die Rotationsverlangsamung selbst die Geschwindigkeiten und damit die Verschiebungen zu klein ausfallen ließ. Noch in 74°,8 Breite war ein sicheres Ergebnis zu verbürgen. Nachstehendes Täfelchen stellt die täglichen Drehungswinkel ξ nebst den daraus hervorgehenden Rotationsdauern 360° : ξ für verschiedene Breiten nach Dunérs Ermittelung dar:

Breite.	Täglicher Drehungswinkel ξ.	Drehungszeit (360° : ξ) 1^d.
∓ 0°,4	14°,14	25^d,46
15,0	13,66	26,35
30,0	13,06	27,56
45,0	11,99	30,02
60,0	10,62	33,87
74,8	9,34	38,54.

Gälte das Gesetz bis zu den Polen, so würde sich in deren Nähe die tägliche Verschiebung etwa auf 8° vermindert, also die Achsendrehungszeit auf anderthalb Monate verlangsamt haben. In den letzten Jahren ist Stratonoff in Taschkent der Frage näher getreten, indem er seine und die auf der Sternwarte in Pulkowa erhaltenen Sonnenphotographien untersuchte. Nach ihm haben in allen heliographischen Breiten die Fackeln eine größere Geschwindigkeit als die Flecken, und diese wieder eine größere als die Granulationen. Das folge aus Stratonoffs eigenen Fackelmessungen, aus der

Rotationsformel, die Spörer aus Fleckenbeobachtungen abgeleitet hat, und aus Dunérs Zahlen. Die Geschwindigkeiten aller drei Gebilde nehmen vom Äquator nach den Polen hin ab, und zwar am wenigsten die der Fackeln, etwas mehr die der Flecken und am stärksten die Geschwindigkeit der Granulationen. — Dürfen wir annehmen, daß die Granulationen, also die weitverbreiteten gekörnelten Oberflächenschichten, die Achsendrehung der innern Kugel am getreuesten wiedergeben, so hätten wir die merkwürdige Thatsache zu verzeichnen, daß sich der gewaltige Sonnenball nicht wie eine starre Masse um seine Achse dreht, sondern mit der erwähnten Breitenverlangsamung, als deren notwendige Folge eine beständige Verschiebung der einzelnen Breitenschichten gegeneinander eintreten muß, oder wie man vielleicht besser sagt: die Breitenverlangsamung ist selbst eine notwendige Folge der gegenseitigen Wirkungen jener Teile; ein glühend-flüssiger Körper oder auch ein glühender Gasball, wie man sich die Sonne vorstellen will, wird sich nicht nach Art einer erstarrten Masse um eine Achse drehen können. Von den Flecken und Fackeln müßte man dann annehmen, daß sie aus irgend einem Grunde eine mit der Breite wachsende Beschleunigung erfahren, die den allgemeinen Charakter der Umdrehung bei den Flecken abschwächt und bei den Fackeln fast unterdrückt. Wirkt diese Ursache in verschiedenen Jahren mit verschiedener Stärke, so erklärt sich auch, daß bei den Fackeln die Sache lange Zeit zweifelhaft bleiben konnte. — Übrigens muß erwähnt werden, daß Dunér auch eine Formel aufgestellt hat, die seinen Messungen und den Spörerschen Fleckenbeobachtungen innerhalb der anzunehmenden Fehlergrenzen gleichzeitig genügt. Auch hier muß man die volle Aufklärung von der Zukunft erhoffen.

Daß sich die Sonnenflecken mitunter monatelang halten können, zeigt Fig. 99 (S. 306). Bei der ersten Aufnahme, 1892, Mai 27., war die auffallend große Gruppe im Begriff, am vorangehenden Rande zu verschwinden, im umkehrenden Apparate also links. Vierundzwanzig Tage später finden wir sie etwas mehr rechts; sie ist durch die Rotation fast ganz herumgeführt worden. Weitere 20^d, und sie ist der Mitte noch näher; nun fast eine volle Rotation, und wir finden die Gruppe in der Auflösung begriffen.

Die Bilder 109 und 110 lehren noch einiges über die Sonnenflecken. Fig. 109, nach einer von P. Secchi aufgenommenen Photographie, zeigt einen Flecken mit Unterbrechung durch eine Lichtbrücke und läßt, außer den Granulationen der Lichthülle, das spiralige Gefüge im Fleck erkennen, das auf wirbelähnliche, cyklonale Bewegungen deutet; man will sogar mitunter wirkliche Rotationen von Flecken beobachtet haben.

Fig. 110 zeigt die Änderungen, die eine größere Gruppe während ihres Vorüberganges erlitten hat, wie sie von Heinrich Weber in Peckeloh, einem eifrigen Liebhaber der Sternkunde, bei 100facher Vergrößerung gezeichnet worden sind. Drei von den Bildern beziehen sich auf 1865, Oktober 17.

(Gruppe dem Austritte nahe), Oktober 8. (kurz nach dem Eintritte) und Oktober 13.; zwei andere auf Oktober 11. und 14., endlich zwei auf Oktober 12. und 16. Man wird die scheinbaren, durch die Rotation der Sonne hervorgerufenen Änderungen (vgl. Fig. 100, S. 309) von den wirklichen zu unterscheiden haben. — Fig. 101 (S. 311) ist noch zu vergleichen.

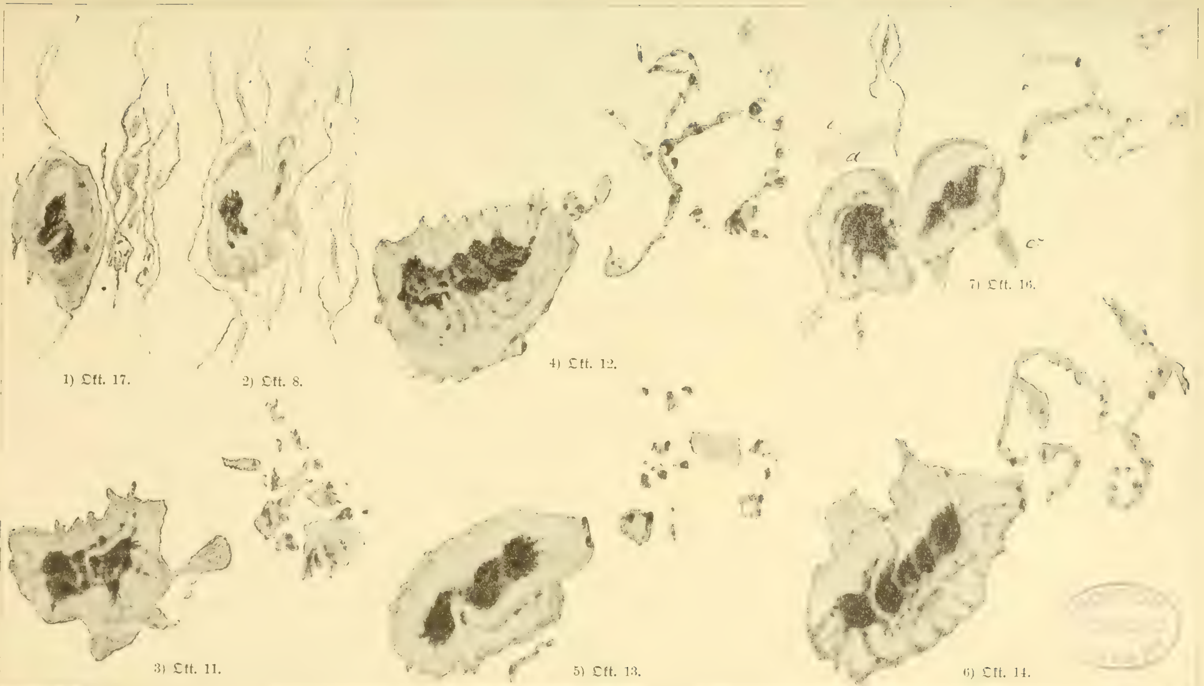
G. Schwabe und R. Wolf verdankt man die wichtige Entdeckung der Periodicität der Fleckenthätigkeit. Zu gewissen Zeiten ist die Sonne nahezu fleckenfrei. Dann beginnen Flecken zu entstehen, und zwar zuerst in den verhältnismäßig hohen Breiten von ± 40°. Die Thätigkeit



Fig. 109. Sonnenfleck, aufgenommen von P. Secchi in Rom, 1865, Juli 30. Nach einer im Besitz des Verfassers befindlichen Photographie.

breitet sich äquatorwärts aus, die Fleckenzonen rücken einander näher, und nach etwa 4 Jahren ist das Maximum erreicht, wo sich die Zonen zwischen + 20° und — 20° Breite befinden und zusammenstoßen. Die Fleckenhäufigkeit nimmt nun wieder ab; nach einer unbedeutenden abermaligen Zunahme sinkt sie dauernd, bis $11^1/_9$ Jahre nach dem ersten Minimum ein zweites erreicht wird.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß die $11^1/_9$jährige Periode nicht immer genau innegehalten wird. Auch die Abweichungen sind wieder periodisch und vollziehen sich nach bestimmten Gesetzen. Die Ursache hat man vielfach in den anziehenden Kräften der Planeten gesucht und hierbei bald den Ju-



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 337 f.

Fig. 110. **Veränderungen eines von Weber in Peckeloh beobachteten Sonnenflecks.**
Nach der im Besitz des Verfassers befindlichen Originalzeichnung.

piter wegen seiner großen Masse und der annähernden Gleichheit seiner Umlaufszeit mit der Fleckenperiode besonders verantwortlich machen wollen, bald den Merkur wegen seiner großen Nähe. Die Wirkungen sollen mit Ebbe und Flut vergleichbar sein und hauptsächlich dadurch zu stande kommen, daß die Sonnenabstände der Planeten nach Keplers erstem Gesetze veränderlich sind.

Bedenkt man aber, um welch gewaltige Massen es sich handelt, wenn Flecken erzeugt werden sollen, worin man Dutzende von Erdbällen versenken könnte, so kommt man zu der Überzeugung, daß vielmehr in der Sonne selbst der Grund für die gewaltigen Erschütterungen und für deren periodischen Wechsel zu suchen ist. Das Wechselspiel zwischen der Reibung der Massen in mittlern und höhern Breiten gegen die überwiegende äquatoriale Masse, die sie mitzuschleppen sucht, zwischen den auf und ab gehenden Strömungen, die von der beständigen Kondensation an der Oberfläche herrühren, und so manchen andern Kraftformen mag am Ende in der 11jährigen Periode eine Art von Ausgleich finden.

Die Wettererscheinungen auf der Erde zeigen eine gewisse Abhängigkeit von dieser Periode, indem z. B. die Variationen der Abweichung der Magnetnadel eine überraschende Einstimmigkeit mit dem Gange der Sonnenflecken bekunden, ebenso die Nordlichter und Erdströme. Für einzelne meteorologische Elemente, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit, ist dagegen der Zusammenhang mit dem Fleckenphänomen wohl nur als mehr oder weniger wahrscheinlich zu bezeichnen. Es ist anzunehmen, daß von dem so umfangreichen und in allen oberflächlichen Teilen in beständiger Unruhe befindlichen Sonnenkörper eine kräftige elektrische Fernwirkung ausgeht, die sich im Zittern der Magnetnadel und im Aufleuchten der Polarlichter kundgiebt. Bei den Kometen wird uns diese Fernwirkung abermals vor Augen kommen.

Die Ansichten der Gelehrten über die Sonne sind sehr mannigfaltig und wechseln zudem oft genug. Obgleich es darum schwer war, dem Leser ein annäherndes Bild von dem zu geben, was man zur Zeit als gesicherten Besitzstand der Sonnenphysik ansehen darf, wird er doch jetzt über die Hauptfragen im allgemeinen orientiert sein. Es möge schon hier betont werden, daß die Spektren der Fixsterne mit dem der Sonne so viele Ähnlichkeit haben, daß eine gewisse Analogie im Bau dieser sehr entfernten Himmelskörper und unseres freundlichen Tagesgestirns als höchst wahrscheinlich gelten kann. Es wird sich später zeigen, daß auch für mehrere andere Attribute der Sonne, nämlich die Veränderlichkeit des Aussehens und die Existenz von dunkeln Begleitern, in der Fixsternwelt Analoga zu finden sind.

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Das Zodiakallicht.

Daß die wissenschaftliche Astronomie nicht erst mit dem Fernrohr geboren ist, daß auch auf diesem Gebiete vor Agamemnon Helden gelebt haben, das ist eine Wahrheit, die man sich in unserer Zeit nicht genug einprägen kann, wo die Wunderwerke der Bau- und Schleifkunst allgemeines Erstaunen wachrufen und den Vergleich mit der ältern, an Hilfsmitteln armen Zeit herausfordern. Die wissenschaftliche Himmelskunde ist nicht ein Ergebnis der neuesten Zeit, sie gehört vielmehr zum ältesten Besitzstande der forschenden und strebenden Menschheit. Wir wissen, daß der scheinbare Planetenlauf im großen bereits dem griechischen Altertum bekannt war, und daß er in ungemein scharfsinniger Weise als das Ergebnis mehrerer Kreisbewegungen gedeutet war, ehe ein Coppernicus — auch dieser ist noch zwei Menschenalter vor der Erfindung des Fernrohres gestorben — ehe dieser große Geist den richtigen Sachverhalt in einfachster Weise aufdeckte und den mühevollen Arbeiten der Alten ihre wahre Bedeutung gab. Dürftige, erst an der Astronomie selbst heraufrankende Begriffe vom trigonometrischen Rechnen standen den hellenischen Himmelsforschern zu Gebote, während heutzutage jeder auf das Einjährigenzeugnis Anspruch machende Mittelschüler Dreiecke mit großer Genauigkeit logarithmisch und trigonometrisch berechnet; eine unbehilfliche Schreibweise erschwerte auch solche Rechnungen, die in unsern Tagen der gemeine Mann mit Leichtigkeit vornimmt. Aber das geometrische Feingefühl des griechischen Volkes, das wir auch in den Werken seiner Architektur und Bildnerei bewundern, half über alle Schwierigkeiten weg, und der emsige Fleiß der Astronomen des Orients entdeckte in den großen Perioden der Himmelserscheinungen Näherungswerte, wie wir sie kaum besser bestimmen können.

Wollte man aber meinen, daß dem Altertum *alles* bekannt gewesen sei, was sich am gestirnten Himmel mit freiem Auge auffinden läßt, so würde man sich trotzdem einer Täuschung hingeben. Es giebt Vorgänge, die man ohne Fernrohr kennen lernen kann und die nichtsdestoweniger den Völkern des Altertums unbekannt geblieben sind; das sind hauptsächlich drei Gruppen von Erscheinungen, nämlich der Lichtwechsel von einzelnen hellern Fixsternen, die Ausstrahlung der Sternschnuppen aus bestimmten Punkten der Sphäre und der rätselhafte Lichtschimmer des Tierkreises oder das *Zodiakallicht*.

Die sogen. Radiation der Sternschnuppen[1] ist eine Erscheinung, die genauer nur durch das Zusammenwirken mehrerer, mit guten Karten be-

---

[1] Näheres darüber in Kap. 32.

waffneter Beobachter zu erkennen ist, obwohl sich ihre auffallendsten Fälle auch unmittelbar dem Auge aufdrängen. Daß sie dem Altertum unbekannt geblieben und daß selbst die so auffallende, an bestimmte Monatstage geknüpfte Periodicität der Sternschnuppen dem Volke viel eher als den Gelehrten bekannt geworden ist, erklärt einerseits der Mangel an guten und wohlfeilen Sternkarten in älterer Zeit, sowie die Schwierigkeit, an demselben Orte mehrere Beobachter von leidlich guter Vorbildung zu gemeinsamem Arbeiten zu vereinigen, andererseits aber, und zwar wohl hauptsächlich, die Ungewißheit über den Charakter der Erscheinung, die man vielfach, und noch im 19. Jahrhundert, mit den wechselvollen Vorgängen in der Atmosphäre in nahen Zusammenhang brachte. — Daß der Lichtwechsel der Fixsterne [1] erst zu Ende des 16. Jahrhunderts bekannt geworden ist, und zwar an dem auffallendsten Himmelskörper dieser Art, Mira Ceti, muß wohl allein dem Mangel an weitverbreiteten guten Karten zugeschrieben werden. Und so darf man auch wohl die merkwürdige Thatsache, daß das Zodiakallicht erst zu Ende des 17. Jahrhunderts von Dominicus Cassini erwähnt wird, obgleich seine Sichtbarkeitsbedingungen für Südost-Europa und Vorderasien sehr gut sind, aus äußern Gründen zu erklären suchen, ohne zu gewagten Vermutungen über einen säkularen Wechsel im Glanze dieses Lichtgebildes seine Zuflucht zu nehmen [2]. In der That, die dürftigen Kenntnisse der Optik, welche sich die Völker des Altertums anzueignen gewußt haben, gestatteten noch nicht eine deutliche Trennung des Zodiakallichtes von der Dämmerung.

* * *

Wenn im Tropengebiete die Sonne untergegangen und die kurze Abenddämmerung beendet ist, so sieht man am westlichen Himmel einen Lichtschimmer, der bei einiger Überlegung gar nicht mit dem Dämmerlichte verwechselt werden kann. Denn, wie wir (vgl. S. 91) wissen, ist das Dämmerungssegment kreisbogenförmig begrenzt. Jener Schimmer aber, das Zodiakallicht, erscheint als ein spitzes Dreieck oder höchstens als ein Parabelstück, dessen Achse nahezu in der Ekliptikalebene liegt. Wir geben in Fig. 111 und 112 die Zeichnungen [3] wieder, welche Eylert im Jahre 1873 in Südamerika, allerdings bereits in subtropischem Gebiete, angefertigt hat. Der nahezu parabolisch begrenzte Schimmer zeigt im Innern ein Lichtmaximum,

---

[1] Vgl. Kap. 35 und 36.

[2] Aus dem Koran und andern Quellen geht hervor, daß das Tierkreislicht den Völkern des Morgenlandes recht wohl bekannt gewesen ist, und ähnliches hat A. v. Humboldt für die Azteken nachgewiesen. Die astronomische Natur der Erscheinung blieb aber verborgen.

[3] Nach Heis, Zodiakallicht-Beobachtungen.

das auch wohl von andern Beobachtern wahrgenommen, übrigens, gleich dem umgebenden Gebiete, nicht so scharf begrenzt zu denken ist, wie die Figuren vermuten lassen. Daß diese Lichtpyramide nichts mit der Dämmerung zu thun habe, ist ohne weiteres klar, und die Beziehung der Mittellinie auf die Ekliptik spricht noch deutlicher dagegen. Denn die Achse des Dämmerungssegmentes entspricht keineswegs der Ekliptik, vielmehr dem Vertikalkreise, welcher durch den augenblicklichen, unter dem Horizonte liegenden Sonnenort gezogen werden kann.

Auch morgens vor Sonnenaufgang ist das Zodiakallicht in den Tropen das ganze Jahr hindurch zu sehen; auch in diesem Falle liegt seine Achse völlig oder nahezu in der Ekliptik, und eine Verwechslung mit dem später auftretenden Dämmerungssegmente ist unmöglich.

In den gemäßigten Erdgürteln ist das Zodiakallicht gleichfalls sichtbar, jedoch zu den einzelnen Jahreszeiten in sehr verschiedener Stellung und Hellig-

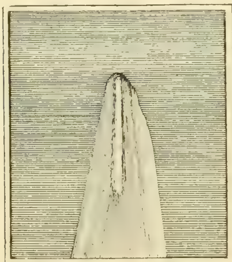


Fig. 111. Zodiakallicht, beobachtet 1873, Aug. 11. in Buenos Aires.

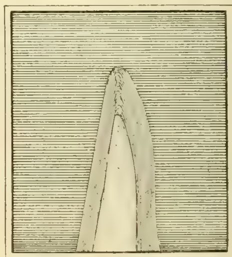


Fig. 112. Zodiakallicht, beobachtet 1873, Sept. 13. in der Nähe von Buenos Aires.

keit. Der Grund hierfür liegt in dem starken Wechsel der Neigung zwischen Ekliptik und Horizont. Wir wissen aus den Beobachtungen in der heißen Zone, daß das Zodiakallicht seine Achse nahezu in der Ekliptik hat. Die Spitze, der sogen. Apex, ist im Durchschnitt 80 bis 90° nach Osten und Westen von der Sonne entfernt; die östliche Spitze sieht man abends, etwa drei Tierzeichen weiter, als die Sonne steht, die westliche morgens, drei Zeichen zurück. Steht also die Sonne etwa im ♈, so ist die Ostspitze im ♋, die Westspitze im ♑. Bestimmte Abend- und Morgenstunden sind für die Sichtbarkeit die günstigsten, nämlich abends die Zeit, wo das Dämmerlicht schon erloschen ist, andererseits aber der Apex noch hoch genug steht, um nicht durch die Dünste in den untern Luftschichten zu sehr geschwächt zu werden; morgens die entsprechende Zeit vor dem Tagesgrauen. Da nun die Achse des Phänomens nahezu in der Ekliptik liegt, so kommt, wie oben angedeutet, alles auf die Stellung der Ekliptik zum Horizonte zu jenen Tageszeiten an.

Am Erdäquator, wo der Himmelsäquator senkrecht zum Horizonte steht, muß mit diesem auch die Ekliptik immer einen ziemlich steilen Winkel machen; in mittleren Breiten wechselt die Neigung sehr[1], und es tritt die gewöhnlich stärkere Trübe der untern Luftschichten als ungünstiger Umstand hinzu. Die Formel für die Neigung i der Ekliptik gegen den Horizont,

$$\cos i = \sin \varphi \cos \varepsilon - \cos \varphi \sin \varepsilon \sin t,$$

worin φ, ε und t die Polhöhe, die Schiefe und die Sternzeit bedeuten, wird der Leser durch Betrachtung des sphärischen Dreieckes zwischen dem Zenith und den Nordpolen des Äquators und der Ekliptik leicht als richtig nachweisen können (vgl. das 9. Kapitel). Für den Horizont von Münster ($\varphi = 51^0\,58'$) ergiebt sich daraus, wenn man $\varepsilon = 23^0\,27'$ setzt, nach Heis folgende Tafel:

t	i	t	i	t	i	t	i
0^h	$43^0\,44'$	6^h	$61^0\,29'$	12^h	$43^0\,44'$	18^h	$14^0\,35'$
1	48 46	7	60 56	13	38 12	19	16 23
2	53 8	8	59 19	14	32 19	20	20 47
3	56 41	9	56 41	15	26 22	21	26 22
4	59 19	10	53 8	16	20 47	22	32 19
5	60 56	11	48 46	17	16 23	23	38 12

Es versteht sich, daß im Osten und Westen dieselbe Neigung stattfindet.

Das Maximum entspricht der Sternzeit 6^h, oder um den 21. des Dezember, Januar, Februar und März der Reihe nach den mittleren Zeiten 12^h, 10^h, 8^h, 6^h; um den 21. des Juni, Juli, August, September, Oktober den mittleren Zeiten 0^h, 22^h, 20^h, 18^h, 16^h. Leicht ergiebt sich hieraus, daß abends im Januar und Februar die besten Sichtbarkeitsbedingungen obwalten; auch im März, wo die kurze Dämmerung begünstigend wirkt, ist das Tierkreislicht noch gut zu beobachten. Morgens wird es wohl, auch abgesehen von den Lebensgewohnheiten der Menschen, im ganzen überhaupt selten gesehen; vergleicht man den Gang der soeben angegebenen Zahlen mit dem der Sonnenaufgangszeiten, so ergiebt sich eigentlich nur für den Oktober eine bequeme Sichtbarkeit. Wie sich die Sache in der südlich gemäßigten Zone verhält, wird der Leser leicht selbst ableiten. Übrigens wird die Sache auch noch dadurch verwickelt, daß sich das Zodiakallicht während eines großen Teiles des Jahres auf die Milchstraße projiciert. Die Ekliptik und der galaktische Äquator (vgl. S. 33, 39) sind ja Hauptkreise, die sich in zwei Punkten der Sphäre (in den Zwillingen und im Schützen) durchschneiden. Bei der bedeutenden Breitenausdehnung sowohl des Tierkreislichtes als auch der Milchstraße müssen also die beiden Gebilde zeitweilig

[1] Vgl. S. 115.

zum großen Teile zusammenfallen. Im ganzen scheint das Zodiakallicht das hellere zu sein; der Milchstraßenschimmer ist jedoch klarer und schöner. Im April, wo große Teile zusammenfallen, ist die Trennung sehr schwierig.

In unsern Gegenden ist die südliche Grenze, abends die linke, morgens die rechte Seite, dem Horizonte näher als die nördliche, leidet also mehr von dem störenden Dämmerlichte, von der Absorption in den untersten Luftschichten und ganz besonders von der Durchstrahlung der Luft mit dem aufdringlich starken künstlichen Lichte unserer Großstädte. Um also gute Zodiakallichtbeobachtungen anstellen zu können, die für eine genauere Kenntnis des Phänomens durchaus erwünscht sind, wird man sich am besten aufs freie Feld begeben, an eine Stelle, wo abends der westliche, morgens der östliche Horizont durchaus frei von größern Objekten und von künstlicher Beleuchtung ist. Man wird dann die scheinbaren Grenzen des Lichtschimmers, gegebenenfalls auch die seiner centralen Verdichtung, in Sternkarten eintragen. Obwohl nämlich der zodiakale Schimmer mit der Fixsternwelt nichts zu thun hat, kann man sich doch zu dessen Ortsbestimmung mit großem Nutzen der relativ festen, unendlich fernen (S. 14) Punkte bedienen, die uns in den Fixsternörtern gegeben sind. So bedient man sich ja derselben Punkte auch bei der Bestimmung der Erdgestalt (S. 50), der täglichen Parallaxe des Mondes (S. 99) und auch beim Beobachten einiger zweifellos irdischen Gebilde, nämlich der leuchtenden Nachtwolken und der Nordlichtstrahlen. Auch für die Sternschnuppenbeobachtungen gebraucht man Karten des Fixsternhimmels. Zum Einzeichnen aller solcher Gebilde kann man natürlich keine kostspieligen Karten benutzen. Selbst die von Heis in seinem letzten Lebensjahre herausgegebenen schönen Karten zum Einzeichnen des Tierkreislichtes dürften vielen Liebhabern der Sternkunde nicht wohlfeil genug sein. Die vor einigen Jahren erschienenen Rohrbachschen Karten zum Einzeichnen der Sternschnuppen und des Zodiakallichtes entsprechen dagegen bei sehr geringem Preise allen vernünftigen Anforderungen an sachliche Richtigkeit.

Um das Zodiakallicht besser beobachten zu können, bediente sich Heis mit Vorteil eines innen geschwärzten Cylinders aus Pappe von 30 cm Höhe und Durchmesser, in den er den Kopf legte. Störendes seitliches Licht wird hierdurch abgehalten. Hierbei sei noch bemerkt, daß, ebenfalls nach Heis, eine schmale, etwa $\pm 3^d$ alte Mondsichel das Tierkreislicht noch erkennen läßt. — Die Beobachtungen lassen die Frage, ob die Achse des Lichtes wirklich genau in der Ekliptik liegt, noch immer offen; durch die Annäherung der südlichen Grenzlinie an den Horizont entsteht eine Fehlerquelle, indem die Achse scheinbar nach Norden verschoben wird. Daß der Zusammenfall wenigstens nahezu stattfindet, geht aus den vieljährigen Beobachtungen von Heis hervor, die nur in der Zeit der hellen Nächte merkliche Lücken aufweisen. Gleichfalls unentschieden ist die Frage, ob die ungemein wechselnde

Helligkeit des Tierkreislichtes objektiv ist oder auf der wechselnden Durchsichtigkeit der Luft beruht. Heis behauptet das Zweite, da er regelmäßig jene Änderungen von solchen in der ihm gut bekannten Milchstraße begleitet sah. Andere sprechen sich entschieden für die erste Ansicht aus.

Bei sehr hellen Zodiakallichtern in den Tropen wollen einzelne Beobachter an der gegenüberliegenden Seite, abends also im Osten, einen schwachen Reflex, den sogen. Widerschein bemerkt haben. Mit diesem nicht zu verwechseln ist der von Brorsen zu Senftenberg in Böhmen im Jahre 1854 entdeckte Gegenschein[1]. Es ist ein elliptischer Lichtschimmer, der dem jeweiligen Sonnenorte ziemlich genau gegenüberliegt und in unsern Gebieten am besten im April sichtbar zu sein scheint. Brorsen und Jones haben noch eine zarte Lichtbrücke beobachtet, die den Gegenschein mit der westlichen Pyramide verbindet.

Man gab früher wohl an, daß das Spektrum des Zodiakallichtes auf kontinuierlichem Grunde eine charakteristische Linie im Grün zeige, die mit der auffallendsten Nordlichtlinie (Wellenlänge 557 Milliontel Millimeter) übereinstimme. Da jedoch schwache Nordlichtentladungen nicht gerade selten sind, so hat man neuerdings die Ansichten insoweit geändert, als nur das schwache kontinuierliche Band für das wirkliche Spektrum des zodiakalen Schimmers gehalten wird. Jene grüne Linie wird Nordlichtstrahlen zugeschrieben, die zufällig mit dem Tierkreislichte zugleich im Gesichtsfelde gewesen sind. Damit wird der Vermutung Raum gegeben, daß wir es mit zurückgeworfenem Sonnenlichte zu thun haben[2].

* * *

In der Corona haben wir ein ziemlich veränderliches Gebilde von rauch- oder staubwolkenartigem Gefüge kennen gelernt, das mit erborgtem Sonnenlichte strahlt. Stellt man sich noch eine weitere staubartige durchstrahlte Sonnenhülle vor, nämlich ein abgeplattetes Sphäroid mit sehr kurzer Rotationsachse, dessen Äquator einen nicht viel größern Durchmesser als die Erdbahn besitzt und auch nahezu in deren Ebene liegt, so erkennt man leicht, daß die Gestalt des Tierkreislichtes im ganzen herauskommt, und auch der Gegenschein läßt sich einigermaßen erklären als das Gebiet, wo das Licht unter günstigen Umständen, nämlich im Einfallslote, reflektiert wird.

Diese Ansicht von der Natur des Zodiakallichtes ist auch deshalb zu loben, weil sie eine andere, bisher unbegreifliche Erscheinung sehr gut erklärt. Wir wissen, daß die Sichtbarkeit des dunkeln Mondgebietes einige

---

[1] Den deutschen Namen haben andere Sprachen, wie die englische, einfach übernommen.

[2] Bei der geringen Intensität ist an die Feststellung der Fraunhoferschen Linien wohl nicht zu denken.

Tage vor und nach dem Neumonde, das sogen. aschgraue Licht, durch Reflexion des Erdlichtes hinreichend zu erklären ist (vgl. S. 114). Nun erscheinen aber auch die Planeten Merkur und Venus infolge ihrer Stellung zur Sonne und Erde vielfach in Sichelform. Schon im vorigen Jahrhundert hat man sich gefragt, woher es komme, daß manchmal auch die Nachtseite der Venus in aschgrauem Lichte gesehen wird, daß sich wenigstens ihre Begrenzung sehr deutlich von dem Himmelsgrunde abhebt. Man dachte an einen Mond, der die Venus erleuchtet. Ein solcher könnte jedoch der Entdeckung unmöglich entgehen, wie man sofort begreift, wenn man sich die Frage vorlegt, ob denn die vom Vollmonde bestrahlte Nachtseite der Erde wirklich hell genug wird, um etwa den Marsbewohnern sichtbar zu werden. Man hat nordlichtähnliche Vorgänge auf der Venus angenommen, aber auch das ist eine Verlegenheitsausrede, weil man in diesem Falle doch Helligkeitsmaxima wahrnehmen müßte. Neuestens hat nun Flammarion mit Recht darauf hingewiesen, daß die Sichtbarkeit der Nachtseite des Planeten Venus durchaus noch nicht beweist, daß diese Nachtseite heller als der Himmelsgrund ist; sie kann auch dadurch sichtbar werden, daß sie dunkler als dieser ist, d. h. dadurch, daß sie sich auf den sehr schwach leuchtenden Schimmer des Tierkreislichtes projiciert. Man bedenke dabei, daß die Teile des Sphäroides, die uns hauptsächlich das Tierkreislicht zusenden, voraussichtlich hinter dem Planeten Venus liegen werden.

Da im Jahre 1896 Brenner auch die Nachtseite des Merkur vom Himmelsgrunde deutlich abgehoben gesehen hat, so gewinnt Flammarions Ansicht eine neue Stütze, und natürlich ebenso die Behauptung von der solaren Natur des Zodiakallichtes [1]. Pflichtet man nämlich der andern Ansicht bei, daß es sich um eine nicht die Sonne, sondern die Erde umgebende Staubmasse, um ein Gegenstück zum Saturnsringe [2] oder auch zu den Kometenschweifen [3] handelt, dann kann offenbar von einer Projektion des Merkur oder der Venus auf das Tierkreislicht kaum geredet werden. Andererseits darf man nicht vergessen, daß diese Ansicht von zweien der tüchtigsten Beobachter, E. Heis und G. Jones, verfochten worden ist, und daß man wohl noch immer nicht bestimmt behaupten kann, die Nachtseiten der beiden innern Planeten seien lichtlos.

Liegt erst eine größere Reihe von sorgfältigen, in allen Zonen angestellten Zodiakallichtbeobachtungen vor mit zahlreichen zeitlichen Koincidenzen, dann wird man der Beantwortung der strittigen Fragen näher treten können.

---

[1] Sie wird auch durch Beobachtungen der Polarisation des Zodiakallichtes gestützt, worauf hier aber nicht eingegangen werden kann.

[2] Vgl. Kap. 29. [3] Vgl. Kap. 31.

Vierundzwanzigstes Kapitel.

Die Planeten Merkur und Venus.

Wenn wir als nächste Umgebungen der Sonne die Corona und das Zodiakallicht zu betrachten haben, so fragt es sich weiter, ob außer diesen Gebilden nicht noch andere zwischen der sichtbaren Sonnenoberfläche und der Bahn des Merkur, soviel wir wissen, des sonnennächsten Planeten, zu finden sind. Mehrfache angebliche Beobachtungen der Vorübergänge eines sogen. intramerkuriellen Planeten haben sich bis jetzt noch immer als Täuschungen erwiesen. Da ein solcher Körper, dem dritten Keplerschen Gesetze zufolge, jedenfalls eine sehr kleine Umlaufszeit haben müßte und seine Bahnhalbachse schon mit dem Sonnenhalbmesser vergleichbar wäre, so wären zahlreiche Durchgänge durch die Sonnenscheibe unausbleiblich, und sie könnten namentlich den vielen eifrigen Beobachtern der Sonnenflecken unmöglich entgangen sein. Gerade diese aber haben niemals einen vor der Sonne vorüberziehenden schwarzen Körper gesehen, den man für einen Planeten halten könnte, abgesehen natürlich von Merkur und Venus. Es scheint, daß es sich bei den sonstigen Beobachtungen immer nur um Flecken von auffallend runder und scharfer Begrenzung gehandelt hat.

Andererseits enthält die säkulare Bewegung des Perihels der Merkursbahn einen noch unbekannten Faktor; die Anziehungen der hier in Betracht kommenden Planeten Venus, Erde, Mars und Jupiter reichen nicht vollständig aus, um diese Bewegung zu erklären. Es hat sich aber gezeigt, daß ein intramerkurieller Planet, dessen Anziehung stark genug wäre, um den noch fehlenden Störungsbetrag zu verursachen, so massenhaft sein müßte, daß er sich der Beobachtung kaum hätte entziehen können. Man hat auch die Gesamtmasse des Zodiakallichtes zur Erklärung herangezogen, steht dabei jedoch, wenn dessen Äquatorebene wirklich nahezu mit der der Ekliptik zusammenfällt, vor der Schwierigkeit, daß die Merkursbahn um 7° gegen diese Ebene geneigt ist, woraus auch eine starke Bewegung der Knoten der Bahn hervorgehen würde. Eine solche wird aber nicht beobachtet. Man ist also anscheinend gezwungen, für die noch immer nicht vollständig erklärte Bewegung des Merkur andere störende Elemente heranzuziehen. So hat man an eine nicht unmeßbar schnelle Fortpflanzung der Schwere durch den Raum gedacht.

Sei dem wie ihm wolle, bis jetzt hat man die Planeten Merkur und Venus als die sonnennächsten zu betrachten. In Bezug auf den irdischen Beobachter nennt man sie auch wohl die unteren, Mars und die andern die obern Planeten, indem man oben und unten von der Sonne aus rechnet. Im übrigen ist es zweifellos, daß man Merkur, Venus, die Erde mit

ihrem Monde und das Marssystem als innere Planetengruppe den großen äußern Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun gegenüberzustellen hat.

Venus kommt an Größe der Erde so nahe, daß sie viel eher mit dieser zu einer besondern Gruppe zu vereinigen ist als mit dem viel kleinern Merkur. Trotzdem scheinen zwischen Merkur und Venus einige Ähnlichkeiten zu bestehen, es ist nur die Frage, wie vieles von diesen Ähnlichkeiten als thatsächlich anzusehen ist.

Die Sichtbarkeitsbedingungen sind nämlich für beide Himmelskörper so ungünstig, daß alle Nachrichten über angebliche Entdeckungen mit äußerster Vorsicht aufzunehmen sind. Die große Bahnhalbachse[1] beträgt für ☿ 0,387, für ♀ 0,723 Erdbahnhalbachsen. Daraus folgt, daß in der untern Konjunktion ♀ um 0,277 (☿ 0,613) Einheiten von uns absteht, und in der obern 1,723 (☿ 1,387). Folgt hieraus schon eine bedeutende Veränderlichkeit des scheinbaren Halbmessers besonders für Venus, so wird für beide Planeten die Sache noch dadurch verwickelt, daß wir niemals die volle Scheibe sehen. In Fig. 115 ist die nahezu kreisförmige Venusbahn in perspektivischer Verzerrung dargestellt, und die Erde ist in entsprechend größerem Abstande über der Zeichenebene zu denken[2]; die einzelnen Scheiben deuten neben der relativen scheinbaren Größe der Venus[3] zugleich die Phase an, nämlich den Bruchteil der Scheibe, welcher für uns sichtbar ist. Die Richtigkeit der Zeichnung sieht man leicht ein, wenn man eine Kugel mit einer hellen und einer dunkeln Hälfte (einen zweifarbigen Gummiball z. B.) im Kreise bewegt, so daß die helle Halbkugel dem Centrum zugewandt ist, und ihn aus entsprechender Entfernung betrachtet. Die Venusphasen hat Galilei 1610 mit dem Fernrohr entdeckt; er verbarg seinen Fund in dem Anagramm: Haec immatura a me iam frustra leguntur o. y., woraus durch Buchstabenversetzung entsteht: Cynthiae[4] figuras aemulatur mater amorum. Man giebt diese Entdeckung wohl als einen Beweis für die Richtigkeit des coppernicanischen Systems an, ohne zu bedenken, daß in dem sogen. tychonischen System, wo die Sonne, von Merkur und Venus begleitet, um die Erde kreist, offenbar genau dieselben Erscheinungen zu stande kommen müssen. Allerdings hat man dem Coppernicus vorgehalten, daß keine Venusphasen beobachtet würden, wie sein System solche verlange, und seine Antwort, das komme nur von der Unzulänglichkeit unserer Augen her, ist zwei Menschenalter später durch Galileis Entdeckung als richtig erhärtet worden.

---

[1] Genauere Zahlen bringt die Zusammenstellung am Ende des Buches.

[2] Da der Radius der Venusbahn hier = 44,5 mm beträgt, so bekommt man für den der Erdbahn 44,5 mm : 0,723 = 61,5 mm. Faßt man die Bahn als die des Merkur auf, so wird der Erdbahnradius = 44,5 mm : 0,387 = 115,0 mm.

[3] Natürlich im Mißverhältnisse zur Bahn dargestellt.

[4] Cynthia = Diana = Luna; mater amorum = Venus.

Die Figur erläutert natürlich auch den Gang der Erscheinungen für Merkur, doch stimmt dann die scheinbare Größe nicht mehr, die sich bei diesem Planeten offenbar nicht so stark ändert.

Stellt man sich die Venus- und die Erdbahn als Kreise vor und nimmt an, daß in einem gegebenen Augenblicke die Linie ♁ ♀ die Venusbahn berührt, so ergiebt sich leicht die Gleichung:

sin ♀ ♁ ☉ = ☉ ♀ : ☉ ♁ = 0,723 = sin 46° 20′;

ebenso für Merkur: sin ☿ ♁ ☉ = ☉ ☿ : ☉ ♁ = 0,387 = sin 22° 50′.

Offenbar sind dieses die Stellungen, wo der Winkel an der Erde am größten ist, wo wir also Merkur oder Venus in größter Elongation (Digression, Ausweichung) von der Sonne sehen. Die Excentricität der Bahnen bewirkt bei Venus im günstigsten Falle ein Hinaufgehen der Elongation auf 48°, bei Merkur auf 29°. Auch diese Winkel sind so klein, daß beide Planeten immer nur Morgen- oder Abendstern sein können; Venus als der auffallendere trägt besonders diese Namen. Die Entdeckung, daß Morgen- und Abendstern derselbe Himmelskörper sind, ist wohl schon in sehr alter Zeit gemacht worden. Die Schönheit des Morgensternes wird von der Heiligen Schrift und von zahlreichen Dichtern aller Völker besungen; er heißt auch der Lichtbringer, Lucifer, *Φωσφόρος*, und wird als Bote des Tages freudig begrüßt, während dasselbe Gestirn, wenn es abends sichtbar ist und Hesperus heißt, die Poeten mehr zu schmerzlichen und traurigen Gedanken anzuregen scheint. „Hespers bleiche Trauerkerze lodert an des Tages Gruft“, singt Matthisson, und Goethe hat den ergreifenden Abschnitt aus den nach Ossian benannten Liedern, der mit „Stern der dämmernden Nacht“ beginnt, in wirksamer Weise in jene schreckliche Scene verwoben, wo unsinnige und unbefriedigte Leidenschaft in einem armen Menschenherzen den Selbstmordgedanken reifen läßt.

Der Gang der Phasen richtet sich natürlich nach der synodischen Umlaufszeit, die im Mittel, nämlich abgesehen von den Störungen, die die Excentricität der Bahnen bewirkt, für Merkur $115^d\ 21^h$ und für Venus $218^d\ 16^h$ ausmacht. Dadurch kommen nun besonders für Venus in den einzelnen Jahren sehr verschiedene Sichtbarkeitsbedingungen zu stande. Ist Venus Abendstern, folgt sie also der Sonne nach, dann hat sie im Dezember und den nächstfolgenden Monaten für die Nordhalbkugel, im Juni und den folgenden für die Südhalbkugel einen größern Tagebogen als die Sonne, bleibt mithin lange sichtbar; für den Morgenstern erhält man bei uns den Oktober, November und Dezember als beste Monate. Die Bahn des Planeten ist nur wenig gegen die Ekliptik geneigt, man kann hier also ganz ähnliche Betrachtungen anstellen wie für die Rückenlage der Mondsichel (S. 115) und die steile Stellung der zodiakalen Pyramide. So bot im

Winter und Frühjahr 1897 Venus als Abendstern ein prächtiges Schauspiel. Es versteht sich, daß die erleuchtete Sichel der Venus der Sonne zugewandt ist. Für den europäischen Beobachter ist darum die Wölbung der Sichel des Abendsternes nach rechts abwärts, die des Morgensternes nach links abwärts gerichtet. Im umkehrenden Fernrohr steht also jene nach links oben, diese nach rechts oben, ähnlich der Mondsichel.

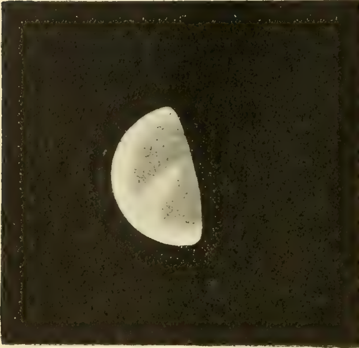


Fig. 113. Venus, beobachtet 1892, März 21., von J. Rheden.

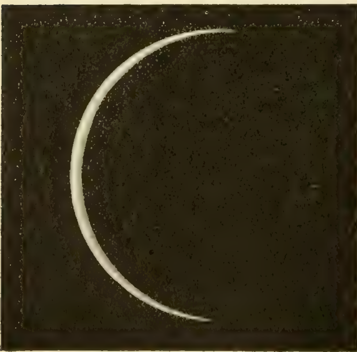


Fig. 114. Venus, beobachtet 1892, Juli 3., von J. Rheden.

Unsere Figuren 113 und 114 zeigen Venus als Abendstern in einem kleinen umkehrenden Fernrohr; die Sichel ist in den Zeichnungen nicht gegen den Horizont orientiert.

Die Figur 115 legt noch die Frage nahe, wann Venus am hellsten erscheint. Offenbar weder in den Stellungen um I, wo die Entfernung sehr groß, noch auch nahe bei III, wo die beleuchtete Sichel sehr klein ist. Sorgfältige Untersuchungen, die neuestens hauptsächlich G. Müller anstellte, haben erkennen lassen, daß etwa 36 Tage vor und nach der untern Kulmination, wenn Venus etwa 39° von der Sonne entfernt zu sein scheint, der Glanz am hellsten ist, indem die geringe Breite der Sichel mehr als ausgeglichen wird durch den geringen Abstand von der Erde. Diese Maximalhelligkeit gab man früher auf den 40- bis 50fachen Betrag der Helligkeit von α Lyrae an; nach Müller ist Venus aber im Maximum volle 69mal heller als dieser schöne Fixstern und immer noch 18mal heller als Sirius, wie sie denn überhaupt nächst dem Monde der hellste Himmelskörper ist. In der Zeit des größten Glanzes wirft sie deutliche Schatten, und zwar scharfbegrenzte ohne Halbschatten, weil sie als punktförmige Lichtquelle zu betrachten ist.

Für Merkur steht die Sache viel ungünstiger, er verschwindet meistens in den Strahlen der Dämmerung, und nur etwa zwischen den Zeiten der größten Elongation und des größten Glanzes kann man ihn bequemer auffinden, zumal wenn sein Tagebogen merklich größer als der der Sonne ist, also als Abendstern etwa um die Frühlingsnachtgleiche und als Morgenstern um die Herbstnachtgleiche. Coppernicus soll auf dem Sterbebette beklagt haben, daß er den Merkur nie gesehen habe. Den Griechen ist er wohlbekannt gewesen; allerdings beobachteten sie auch in einem günstigern Klima. — Zu beachten ist auch noch, daß die Bahnneigung, bei ☿ 7° 0′, bei ♀ 3° 24′, begünstigend oder störend wirken kann.

Die wichtigsten Konstellationen und andern bemerkenswerten Stellungen, in die Merkur und Venus vom April 1898 bis zum Ende des Jahres 1900 gelangen, findet man in der Konstellationstafel am Schlusse des Buches angegeben. Man ersieht daraus leicht die im ganzen unveränderliche Dauer der siderischen Umlaufszeiten (vom Perihel zum Perihel oder auch zwischen zwei

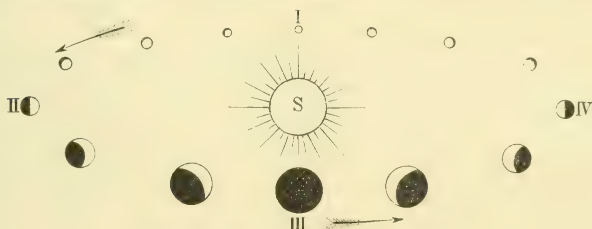


Fig. 115. Phasen des Merkur und der Venus.

gleichnamigen Knotendurchgängen) und die größere, etwas stärker veränderliche Dauer der synodischen Umläufe (zwischen zwei gleichartigen Konjunktionen). Jeder der beiden Sterne wird nach der obern Konjunktion Abendstern und nach der untern Morgenstern. Welche der in der Tafel angegebenen Zusammenkünfte der beiden Planeten miteinander, mit andern Planeten oder dem Monde in unsern Gegenden gut sichtbar sind, welche Mondkonjunktionen insbesondere zur Auffindung zumal des Merkur dienen können, das aufzufinden soll dem Leser überlassen bleiben. Es sei noch bemerkt, daß die Konjunktionen als solche in RA (vgl. S. 274—275) zu verstehen sind und daß die geocentrischen Zahlen für den Deklinationsunterschied beim Monde ein wenig durch die Parallaxe geändert werden, während die Planetenparallaxe für unsere Angaben im ganzen belanglos ist.

* * *

Von der Oberflächenbeschaffenheit der beiden untern Planeten weiß man zur Zeit noch so gut wie gar nichts. Nicht einmal die Zeit ihrer Rotation

kann man angeben. Obgleich uns Mars durchaus nicht so nahe kommen kann wie Venus, wissen wir doch viel mehr von ihm als von dieser. Der Grund liegt in den angegebenen Sichtbarkeitsverhältnissen. In den günstigsten Phasen ist, wie wir wissen, der sichtbare Teil der beleuchteten Halbkugel sehr klein; dazu kommt, daß bei Merkur und Venus die Helligkeit ziemlich gleichmäßig verteilt ist, daß schwarze Linien oder Flecken nur von guten Augen mit vorzüglichen Fernrohren gesehen werden, und auch da finden die grellsten Widersprüche statt. Da die Spitzen der Venus- oder Merkurssichel, die sogen. Hörner, sehr dünn auslaufen, so hatte zu Anfang des 19. Jahrhunderts Schröter in Lilienthal den richtigen Gedanken, etwaige schwarze Flecken würden am besten auf diesen Hörnern sichtbar sein. Aus den von ihm beobachteten wechselnden Helligkeiten der Hörner schloß er bei Merkur auf eine Rotationszeit von ungefähr 24^h, bei Venus fand er $23^h\ 21^m$, eine Größe, die im Jahre 1842 de Vico in Rom aus zahlreichen Beobachtungen noch genauer zu $23^h\ 21^m\ 21^s,93$ bestimmte. Da nun die Erde in $23^h\ 56^m$ und Mars in $24^h\ 37^m$ eine Achsendrehung vollziehen, so hatte man die überraschende, anscheinend gut beglaubigte Thatsache einer nahezu übereinstimmenden Tageslänge der vier innern Planeten, die auch nach der Größenordnung und Dichtigkeit zusammenzugehören scheinen.

Während nun aber für Mars die Thatsache durch fortwährende weitere Beobachtungen außer Zweifel gestellt worden ist, ging es mit Merkur und Venus ganz anders. Im Jahre 1889 überraschte Schiaparelli in Mailand die Astronomen mit der Meldung, nach seinen achtjährigen Beobachtungen drehe sich Merkur genau in derselben Zeit um seine Achse, in der er die Sonne umläuft, nämlich in 88 Tagen; später äußerte er, daß auch die Rotationszeit der Venus gleich ihrer Umlaufszeit, also gleich 225 Tagen sei. Seitdem haben sich viele Beobachter von neuem eingehend mit den beiden Himmelskörpern beschäftigt, und die Bestimmtheit, womit die einen für die kurze und die andern für die lange Periode eintreten, verlangt jedenfalls eine Erklärung.

Venus ist täglich höchstens einige Stunden als Morgen- oder Abendstern sichtbar; in den Tropen, wie man aus dem größten Elongationswinkel leicht erschließt, höchstens etwas über drei Stunden, wovon aber noch einiges heruntergeht für die Dämmerung und für den tiefen Stand des Himmelskörpers. In mittlern Breiten, wo die Luft weniger klar ist, kann der Deklinationsunterschied ♀ — ⊙ merklich begünstigend wirken, offenbar aber auch im entgegengesetzten Sinne. Hoch am Himmel steht der Planet nie, die Beobachtungen werden viel häufiger durch Dünste und Wolken vereitelt oder verschlechtert als etwa bei Mars oder Jupiter. Man wird sich an jedem Abend oder Morgen die Beobachtungszeit sorgfältig aussuchen müssen; bei gutem Wetter wird es einige Wochen lang im ganzen dieselbe mittlere Zeit

sein. Ist nun die Rotationszeit ungefähr gleich der der Erde, so ergiebt sich, daß man, von der Phasenänderung abgesehen, einige Wochen lang allabendlich denselben Anblick haben wird; Verschiebungen einzelner Flecken nachzuweisen ist äußerst schwierig, wenn man die Beobachtung vielleicht nur eine Stunde lang fortsetzen kann und die Sichel sehr schmal ist.

Ist andererseits die lange Periode die richtige, dann wird man gleichfalls wochenlang so ziemlich dasselbe sehen. Der 10. Teil der Periode ist dann ja noch größer als drei Wochen, eine Zeit, worin sich mit der Entfernung und Phase, auch mit dem Wetter, die äußern Bedingungen gewaltig ändern. Die Entscheidung ist also schwer. Man hat offenbar in erster Linie auf das Verhalten der beobachteten Flecken zum Terminator oder Grenzkreise zu achten. Es ist das der Hauptkreis der Venuskugel, welcher die beleuchtete von der unbeleuchteten Seite trennt, dessen etwaige Anwohner also die Sonne im Horizonte haben. Ist die Rotationszeit gleich der Revolutionszeit, so haben wir ähnliche Verhältnisse wie bei unserem Monde: dieser (vgl. S. 118) wendet der Erde immer dieselbe Seite zu, Venus der Sonne. Der Terminator geht also immer durch dieselben Gebiete der Kugel, und da wir eine Hälfte des Terminators als innere Sichelbegrenzung sehen, so haben wir festzustellen, ob die etwaigen Flecken ihre Entfernung vom Terminator ändern oder nicht ändern. Der zweite Fall wird die lange Periode bedeuten, der erste eine kürzere, also vielleicht die Schrötersche.

Eine Entscheidung zu treffen ist zur Zeit unmöglich. Neuestens hat Lowell Zeichnungen veröffentlicht, die für die lange Periode sprechen; er behauptet, die von ihm gesehenen Gebilde — vgl. das Kärtchen Fig. 116 — seien sehr bestimmt, während andere immer das Gegenteil versichert haben. Übrigens haben seine Behauptungen starken Widerspruch gefunden. Sind sie richtig, so ist die eine Venushalbkugel beständig dunkel; der Fall liegt ja etwas anders als bei unserem Monde, dessen eine Halbkugel zwar für uns nie sichtbar wird, jedoch Sonnenlicht erhält und z. B. von einem Beobachter auf der Venus recht gut könnte wahrgenommen werden. — Da die Venusbahn sehr wenig excentrisch ist, hat man keine merkliche Längenlibration; es wird also wirklich fast genau die Hälfte der Oberfläche ewigen Tag, die andere Hälfte ewige Nacht haben, wenn nicht eine etwaige Dämmerung und Refraktion, für die manche Gründe sprechen, die Tagseite vergrößert. Lowells Karte stellt natürlich die beleuchtete Seite dar.

Die Wettererscheinungen auf einem solchen Himmelskörper müssen eigentümlich verlaufen. Kalte Winde von der Nachtseite her werden beständig nach der erhitzten Tagseite stürmen, während die erhitzte Luft in den obern Regionen abgekühlt wird und den entgegengesetzten Weg nimmt. Nun ist Venus nur 0,723 Erdweiten von der Sonne entfernt, und da die Wärme-

strahlung proportional dem Quadrate des Abstandes schwächer wird, so ist sie auf der Venus $1 : 0{,}723^2 = 1{,}91$mal so stark als auf der Erde. Der der Sonne zugewandte Punkt, der sie beständig im Zenith hat, wird dann vielleicht ebensowenig bewohnbar sein wie die Nachtseite; möglicherweise kann ein schmaler Streifen um den Terminator zur Stätte organischer Lebensthätigkeit ausersehen sein, alles unter der noch unbewiesenen Annahme, daß sich Venus in 225 Tagen um ihre Achse dreht.

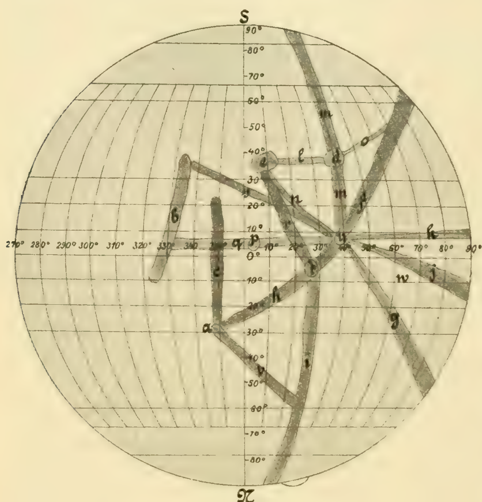


Fig. 116. Venuskarte nach Lowell.

Index.

a Eros.
b Psyche regio.
c Hermione regio.
d Aschtoreth.
e Aschera.
f Anchises regio.
g Hero regio.
h Aphrodite regio.
i Aeneas regio.
j Anteros regio.
k Adonis regio.
l Dione regio.
m Paris regio.
n Hymenaeus regio.
o Hephaestos regio.
p Istar.
q Somnus regio.
r Cytherea regio.
s Cyprus regio.
t Pothos.
u Bilit.
v Astarte regio.
w Libentina regio.

Beim Merkur, für den die lange Periode vielleicht mit etwas größerem Rechte als für die Venus angenommen werden kann, ist doch die Entscheidung weit schwerer wegen der schlechten Sichtbarkeit. Schiaparelli war kühn genug, den Planeten am hellen Tage zu beobachten, um mehrere Stunden darauf verwenden zu können, und in derselben Weise hat man die Venus beobachtet. Natürlich treten dann für die vermiedenen Schwierigkeiten andere auf. Rotiert Merkur in der langen Periode, und steht die Achse senkrecht auf der Bahnebene, so wird die Längenlibration, die bei der starken Bahnexcentricität nach beiden Seiten etwa 24^0 ausmacht, in den 88 Tagen den Terminator um die festen Pole hin und her pendeln lassen, so daß im ganzen nur ein kleinerer Teil der Oberfläche, etwa $^1/_3$, beständigen Tag hat, ein anderes Drittel beständige Nacht und der Rest einen fortwährenden Wechsel von hell und dunkel. Die Kraft, womit die Sonnenstrahlen den Merkur treffen, ist $1 : 0{,}387^2 = 6{,}68$mal so groß wie bei uns. Auch

hier kann man dem Gedanken Raum geben, daß die Terminatorgegenden bewohnbar sind. Die dort etwa lebenden Geschöpfe hätten dann jedenfalls mit etwas verwickeltern Wettererscheinungen zu rechnen als die Bewohner der entsprechenden Gebiete auf der Venus.

Die angegebenen Bestrahlungsverhältnisse geben offenbar auch an, wievielmal die Sonnenscheibe einem Venus- oder Merkursbewohner größer erscheint als dem Erdenbürger. Der Durchmesser der Sonne ist dagegen nur im reciproken Entfernungsverhältnisse vergrößert, für ☿ 2,58mal, für ♀ 1,38mal.

Während der Fixsternhimmel auf den einzelnen Planeten im ganzen denselben Anblick bietet, welcher nur durch die Lage der Äquatorebene und die Geschwindigkeit der Rotation sein besonderes Gepräge erhält, gestaltet sich der Anblick der Planeten etwas anders. Einem Venusbewohner werden Jupiter und Saturn fast ebenso hell wie uns erscheinen, Mars jedoch merklich schwächer. Dafür ist aber für ihn Merkur fast ein ebenso glänzender Stern wie für uns Venus, und es kommt die Erde als sehr heller und großer, auch regelmäßig in Opposition gelangender Himmelskörper hinzu. Zweifellos wird neben der Erde auch der Mond für freie Augen als ein recht heller Stern sichtbar sein. Auch ein Merkursbewohner würde den Mond noch von der Erde unterscheiden können, denn der Winkelabstand wäre, wenn für uns das erste oder letzte Mondviertel mit der untern Sonnenkonjunktion des ☿ zusammenfällt, etwa gleich dem von ζ und g Ursae maioris.

Warum die langen Rotationszeiten für Merkur und Venus bei manchen Forschern Anklang gefunden haben, die hauptsächlich theoretische Gründe reden lassen, das wird im folgenden Kapitel erörtert werden. Ein Mond des Merkur ist noch nicht beobachtet worden; über den angeblichen Venusmond und Flammarions Erklärung für die Sichtbarkeit der Nachtseite der Venus vgl. S. 346.

Zahlen für Größe, Masse u. s. w. von Merkur und Venus findet man in der Zusammenstellung am Ende des Buches.

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

Die Erde und ihr Mond.

Da die Betrachtungen über die Größe, Gestalt und Bewegung der Erde allen astronomischen Forschungen als notwendige Grundlage dienen, so ist ein großer Teil dessen, was über diesen Planeten gesagt werden mußte, bereits in frühern Kapiteln erledigt worden; und da das übrige in einer besondern Wissenschaft, nämlich der physischen Erdkunde[1], behandelt wird, so bleibt hier nur noch weniges zu erledigen.

[1] Vgl. z. B. Jakob, Unsere Erde. 2. Aufl. Freiburg, Herder, 1895.

Auch mit der Entfernung und Größe, der Gestalt und der sehr verwickelten Bewegung unseres Mondes sind wir (vgl. S. 99—120) bekannt geworden, es hat sich auch (S. 112—113) Gelegenheit geboten, über die Oberflächenbeschaffenheit unseres Trabanten, vorzüglich über den Mangel eines dem irdischen vergleichbaren Luftmeeres etwas zu erfahren, ferner (S. 265) über die Masse des Mondes, über die Benutzung seines Lichtwechsels zum Messen der Zeit (S. 120—137) und über die Verfinsterungen, die er hervorruft und erleidet (S. 279—298).

Wie die Erde, von der Sonne aus gerechnet, unseres Wissens der erste mit einem Begleiter versehene Planet ist, so ist sie auch unter allen mit Monden versehenen Wandelsternen (♁, ♂, ♃, ♄, ♅, ♆) in gewissem Sinne der merkwürdigste. Wie wir wissen, stehen Erde und Mond etwa um den 400. Teil einer Sonnenweite voneinander ab. Die Beobachtungen zeigen, daß auch der äußerste Jupitermond ungefähr um den 400. Teil der Entfernung ☉ ♃ von seinem Centralkörper absteht und daß auch für Saturn und seinen äußersten Begleiter ein ähnliches Verhältnis besteht. Während nun aber die durch die Sonne verursachten Störungen im Laufe dieser Monde recht gering sind, weil die weit entfernte Sonne dem Hauptplaneten an Masse verhältnismäßig nicht sehr überlegen ist, gehen sie bei unserem System zu hohen Beträgen hinauf. — Die Monde des Mars, Uranus und Neptun sind relativ so nahe bei ihren Centralgestirnen, daß die Sonnenstörungen unmerklich sind.

Während der Mond seine rasch veränderliche elliptische Bahn um die Erde zieht, sucht ihn die Sonne beständig herauszuzerren. Die sehr verwickelte Störung läßt sich, abgesehen von der Verschiebung des Perihels und des Knotens, die den Anlaß zur Unterscheidung des anomalistischen und des drakonitischen Monats vom siderischen und tropischen (vgl. S. 111—115 und 238) gegeben haben, in eine Reihe von periodisch veränderlichen Gliedern zerlegen, deren erstes so beträchtlich ist, daß es schon Ptolemäus (130 n. Chr.) entdeckt hat, obgleich er irrtümlicherweise die Mondbahn nicht als Ellipse, sondern als excentrischen Kreis (vgl. S. 171) betrachtete. Da der Unterschied zwischen den Entfernungen ☉ ♁ und ☉ ☾ am größten in den Syzygien (Neu- und Vollmond) ist, während er in den Quadraturen (Vierteln) verschwindet, so zieht in den Syzygien die stärkere Attraktion die beiden Körper am meisten auseinander: sie reißt den Neumond von der Erde weg und die Erde vom Vollmonde. Hierdurch wird die Excentricität der Mondbahn verändert. Stellt man sich einen Augenblick vor, wo die große Achse dieser Bahn mit der Richtung zur Sonne zusammenfällt[1] und das Perigäum mit dem Neumonde, so erkennen wir, daß zu einer solchen Zeit die Anziehungs-

[1] Von der Bahnneigung abgesehen.

differenz, indem sie vor dem Perigäumsdurchgange den Mondlauf beschleunigt und ihn nachher verzögert, die Excentricität ändern muß; 15 Tage später oder früher fällt das Apogäum nahezu mit dem Vollmonde zusammen, und es ergiebt sich eine abermalige bedeutende Störung. Die Verhältnisse kehren sich um, wenn das Apogäum mit dem Neumonde und das Perigäum mit dem Vollmonde nahezu gleichzeitig erreicht wird. Gering wird die Störung dagegen, wenn Perigäum und Apogäum mit den Vierteln zusammentreffen. Da der Neumond das Jahr hindurch sehr verschiedene Längen erreicht, wechselt diese große Störung sehr rasch. Eine große Periode für sie ist der anomalistische Cyklus; es sind 269 anomalistische Monate oder Perioden der elliptischen Bewegung[1] gleich $7412^d,19$, und 251 Lunationen oder synodische Monate $= 7412^d,18$. Die periodische Änderung der Excentricität, die man als Evektion[2] bezeichnet, ruft natürlich eine Abweichung der Mondlänge von der aus den elliptischen Elementen berechneten hervor. Sie geht im Maximum auf $\pm 1^0\,16'$ in Länge und $\pm 9'$ in Breite, weshalb sie den gut beobachtenden Astronomen des Altertums auf die Dauer nicht entgehen konnte.

Außer der Änderung der Excentricität bewirkt die Sonnenanziehung auch noch unmittelbar eine Verschiebung des Mondes in der Länge. Diese im 10. Jahrhundert von dem Araber Abul Wefa, später unabhängig auch von Tycho Brahe entdeckte Störung erreicht ihre Maxima von $\pm 40'$ in Länge und $\pm 33''$ in Breite in den sogen. Oktanten, d. h. wenn der geocentrische Längenunterschied ☉ — ☾ $= 45^0$, 135^0, 225^0 und 315^0 ist. Ihre Periode ist die Hälfte des synodischen Monates. Man nennt diese Störung die Variation.

Da die Erde um Neujahr im Perihel und um den 1. Juli im Aphel steht, so sind zu jener Zeit die Mondstörungen durch die Sonne am stärksten, zu dieser am schwächsten. Ihren Mittelwert erhalten sie zu Anfang Oktober und Anfang April. Ohne die abziehenden Sonnenstörungen würde die Erde den Mond schneller herumführen. Sie verzögern ihn im Winterhalbjahr am stärksten, d. h. in diesem Halbjahr ist der siderische Monat länger als in dem andern. Die kleine Veränderlichkeit prägt sich aus in einer Abweichung des beobachteten Mondortes von dem aus der elliptischen Bewegung mit Rücksicht auf die größern Störungen berechneten Orte. Das ist die jährliche Gleichung. Da die Bewegung vom Oktober bis zum April gegen den Durchschnitt verzögert, vom April bis zum Oktober beschleunigt wird, so sieht man leicht ein, daß zu Anfang Januar und Juli der Durch-

[1] Vgl. S. 198.

[2] Eveho, ziehe auseinander: Zerrung der Ellipse. — Die Excentricität wächst beim Zusammenfall der Syzygien mit der Richtung zur Sonne und nimmt ab, wenn die Quadraturen mit ihr zusammenfallen.

schnitt erreicht wird, am 1. April die größte Verzögerung, am 1. Oktober die größte Beschleunigung, und daß überhaupt in der ersten Jahreshälfte die Längenverbesserung negativ ist, in der zweiten positiv. Das Maximum beträgt ± 11′.

Endlich rührt, wie wir schon früher (S. 264—265) gehört haben, die parallaktische Gleichung daher, daß die Sonne den Neumond stärker von der Erde abzieht als den Vollmond. Ihr Betrag, im Maximum ± 2′, gestattet uns, wie dort auseinandergesetzt wurde, das Verhältnis der Abstände ☉♁ und ♁☾ zu bestimmen und damit den aus den Venusdurchgängen und andern Erscheinungen abgeleiteten Wert für die Sonnenparallaxe analytisch zu bestätigen.

Zu diesen Sonnenstörungen tritt noch eine sehr kleine Störung durch die sphäroidische Gestalt der Erde. Ihr Maximum beträgt in der Länge ± 7″, und die Mondbeobachtungen gestatten uns den Rückschluß von diesem Werte auf den der Abplattung mit Hilfe des Newtonschen Anziehungsgesetzes. Die Übereinstimmung des berechneten Abplattungswertes (1 : 305 aus der Längenstörung, 1 : 304 aus der Breitenstörung) mit dem beobachteten (1 : 299,15; vgl. auch S. 59—60) ist groß genug, um uns von der Zuverlässigkeit astronomischer Rechnungen überhaupt einen neuen Beweis zu geben. — Auch diese Störung ist bei den Monden der übrigen Planeten im ganzen gering wegen der kleinen Bahnneigungen gegen die Äquatorebenen.

Darin aber steht die Erde wieder einzig unter den Wandelsternen da, daß sie von ihrem kleinen Trabanten sehr merkliche Gegenwirkungen erfährt. Wie nämlich der Abstand des Mondes von dem der Sonne nicht so sehr verschieden ist, um nicht eine verwickelte Bewegung ins Werk zu setzen, so ist andererseits auch seine Masse, verglichen mit der der Erde und besonders ihrer oberflächlichen Teile, so groß, daß er in der vergleichsweise kurzen Entfernung noch eine bedeutende Anziehung ausübt.

Wir benutzen diese Gelegenheit, um dem Leser ein Bild von den Größenverhältnissen in der innern Gruppe des Planetensystems vorzuführen. Der größte Kreis in Fig. 117 (S. 359) bedeutet die Erde oder auch die fast genau ebenso große Venus; es folgen der Reihe nach Mars, Merkur und der Mond. Wie man sieht, spricht sich auch in diesem allmählichen Übergange die Koordination der fünf innern Körper unseres Systems aus. Wir sagen fünf, denn die allerdings auch hierher gehörigen Marsmonde sind viel zu klein, um in der Zeichnung berücksichtigt werden zu können.

Die erste von den angedeuteten Gegenwirkungen des Mondes kennen wir bereits: nicht der Schwerpunkt der Erde, sondern der gemeinsame Schwerpunkt der Erde und des Mondes ist es, der die jährliche Ellipse um die Sonne zieht, und so entsteht im Laufe der Erde eine kleine Störung, die wir als Mondgleichung (S. 230) kennen gelernt und ähnlich der paral-

laktischen Mondgleichung als erfreuliches Zeugnis für die Richtigkeit unserer Annahmen über die Sonnenentfernung begrüßt haben.

Eine andere Wirkung, die Präcession nebst der Nutation, ist gleichfalls ausführlich besprochen worden (S. 232—254).

Während diese Erscheinungen vorzugsweise die Wissenschaft als solche beschäftigen, giebt es einen vom Monde verursachten Vorgang, der in viele Lebensverhältnisse bedeutend eingreift. Das sind die Gezeiten, regelmäßige Bewegungen des Wassers, die in einem als Flut bezeichneten Anschwellen und in einem Ebbe genannten Rückfließen bestehen.

Wenn man begriffen hat, daß die Sonne den Mond beständig von der Erde zu trennen sucht, indem sie den Neumond stärker anzieht als die Erde, und die Erde stärker als den Vollmond, so ist auch für das Spiel der Kräfte in den Gezeiten die Erklärung leicht verständlich. Die Erdkugel

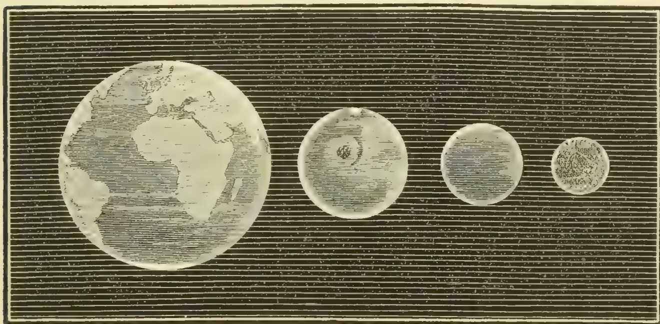


Fig. 117. Erde, Mars, Merkur und Mond nach der Größe geordnet. Maßstab: 1 : 364 Millionen. (Nach *Flammarion*, La Planète Mars.)

als Ganzes folgt der Anziehung des Mondes, indem sie in jedem Augenblicke von der durch die Tangente gegebenen Laufrichtung abirrt und so in 27 Tagen um den Schwerpunkt geführt wird, den sie mit dem Monde gemeinsam hat. Daß dieser Schwerpunkt noch in der Erde liegt, und zwar etwa 1700 km unter ihrer Oberfläche, das kann die Thatsache dieser Schwankung nicht ändern. Hätten wir noch einen zweiten, kleinern Mond in großer Nähe der Oberfläche, so würde dieser, sobald er in derselben Richtung wie der große Mond stände, von der Erde ein wenig weggezogen werden; umgekehrt, wären die beiden Monde in Opposition, so würde der große die Erde von dem kleinen abziehen. In mittlern Lagen ergäben sich geringere Werte für die trennende Kraft.

Einen solchen innern Mond besitzt die Erde nicht, aber sie hat leicht bewegliche Oberflächenteilchen, da sie fast zu drei Vierteln vom Wasser bedeckt

ist. Die Fluten in den dem Monde zugewandten Gebieten werden sich zu ihm hindrängen, d. h. auf der Seite, die den Mond im Zenith hat, wird sich die sphärische Gestalt der Wasserhülle verwandeln in eine längliche, und zwar, wie die Rechnung zeigt, in die eines Halbsphäroides, das durch Umdrehung einer längs der kleinen Achse halbierten Ellipse um ihre große Achse entstanden ist.

Diese Flut nennen wir Zenithflut. Auf der andern Seite der Erde, wo man den Mond im Nadir hat, entspricht ihr die Nadirflut. Die Wasser schieben sich hier nach dem Punkte der Sphäre, welcher dem Mondorte entgegengesetzt ist, oder eigentlich, Erde und Wasser gehen in ihrer Bewegung um den Schwerpunkt des Systems ♁☾ zwar mit gleicher Geschwindigkeit voran, aber die Erde krümmt ihre Bahn stärker nach innen als das Wasser, während auf der Zenithseite die Bahn des Wassers stärker gekrümmt ist.

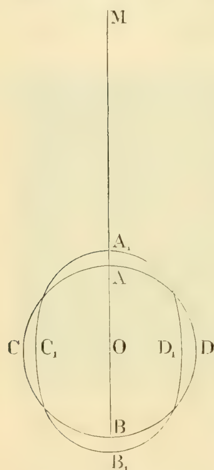


Fig. 118. Ebbe und Flut.

Unsere Fig. 118 zeigt den Sachverhalt in starker Übertreibung. Drehen wir sie um die Linie MO, so wird ABCD die Kugelfläche beschreiben, der die Meeresfläche unter der bloßen Wirkung der anziehenden Erdmasse entspräche; $A_1 B_1 C_1 D_1$ beschreibt das Sphäroid, dessen Gestalt sie wirklich einnimmt; in A_1 ist Zenithflut, in B_1 Nadirflut, während auf dem ganzen von C_1 und D_1 beschriebenen Kreise, dessen Anwohner den Mond M im Horizonte haben, die Ebbe herrscht. Die Oberfläche des Wassers steht nicht mehr senkrecht auf der Richtung der Schwere, sondern macht mit ihr fast überall einen Winkel, der vom rechten etwas verschieden und dessen Abweichung eben auf Rechnung des Mondes zu setzen ist; unter dem Einflusse der beiden angreifenden Kräfte ist das Sphäroid die Gleichgewichtsfläche.

Das alles unter der Annahme, daß die Erde gleichmäßig mit Wasser bedeckt ist und sich nicht um ihre Achse dreht. Die Rotation in Verbindung mit dem Umlaufe des Mondes bewirkt nun, daß die Punkte, welche den Mond im Zenith und Nadir haben, beständig um die Erde wandern. Diese Wanderung vollzieht sich durchschnittlich in $24^h\ 50^m$, dem Mittelwerte des Intervalls zwischen zwei gleichartigen Kulminationen des Mondes. In dieser Zeit umwandern also zwei Flutwellen den Erdball. Läge die Mondbahn in der Äquatorebene, so würden auch die Flutpunkte über den Erdäquator wandern. Fiele sie mit der Ekliptik zusammen, so lägen die Flutpunkte

wenigstens immer in der heißen Zone. So aber, wo die Mondbahn noch um 5° gegen die Ekliptik geneigt ist, fällt je nach dem Stande ihrer Knoten (vgl. S. 104—108) die Zone, worin die Flutpunkte wandern, bald etwas enger bald etwas breiter aus als die heiße Zone.

Den Zusammenhang zwischen der Fluthöhe und der Anziehungskraft des Mondes zu erörtern, würde die uns gesteckten Grenzen überschreiten. Indessen sieht man ein, daß nach dem Newtonschen Gesetze die Beschleunigung, welche ein Teilchen am Erdmittelpunkte O (Fig. 118) erfährt, etwa gleich

$$\frac{k \cdot ☾}{60^2 r^2}$$

sein muß, wo k eine Konstante, ☾ die Mondmasse und r den Erdradius bedeutet; der Kürze halber setzen wir den Mondabstand einfach gleich 60 Erdradien. Die Punkte A und B erfahren dann die Beschleunigungen

$$\frac{k \cdot ☾}{(60 - 1)^2 r^2} \text{ und } \frac{k \cdot ☾}{(60 + 1)^2 r^2}.$$

Hieraus folgt für den Unterschied der auf A und O ausgeübten beschleunigenden Kräfte, den wir als fluterzeugende Kraft f bezeichnen wollen, der Ausdruck

$$f_☾ = \frac{k \cdot ☾}{r^2}\left(\frac{1}{(60-1)^2} - \frac{1}{60^2}\right) = \frac{k \cdot ☾}{59^2 \cdot 60^2 \cdot r^2}(60^2 - 59^2)$$

$$= \frac{k \cdot ☾}{59^2 \cdot 60^2 \cdot r^2}(60 + 59)(60 - 59).$$

Ersetzt man im Nenner und in der Summe die Zahl 59 durch 60, so wird mit guter Annäherung

$$f_☾ = \frac{2\,k \cdot ☾}{60^3 \cdot r^2}.$$

Für die Nadirflut bekommt man einen ganz übereinstimmenden Ausdruck, wenn man 61 durch 60 ersetzt. — Die fluterzeugende Kraft ist natürlich im Perigäum am stärksten, im Apogäum am schwächsten, entsprechend der wechselnden Entfernung des Mondes. Es ist die Frage, ob auch andere Himmelskörper wahrnehmbare Gezeiten erzeugen. Für die Sonne hat man 60 durch 60 · 400 zu ersetzen, und da auch die Masse eine andere ist, nämlich ⊙ = 27 000 000 · ☾ (ungefähr), so erhält man

$$f_⊙ : f_☾ = \frac{2\,k \cdot 27 \cdot 10^6 \cdot ☾}{60^3 \cdot r^2 \cdot 400^3} : \frac{2\,k \cdot ☾}{60^3 \cdot r^2} = \frac{27 \cdot 10^6}{64 \cdot 10^6} = 0{,}4.$$

Obgleich also die Sonne eine so gewaltige Masse besitzt, daß sie die Erde im Kreise um sich herumführt, während der nahe Mond diese Bewegung nur wenig zu stören vermag, beträgt doch ihre fluterzeugende Kraft nur $^2/_5$ von der des Mondes, und zwar darum, weil zwar die anziehende Kraft der zweiten Potenz der Entfernung reciprok verläuft, aber ihre Zunahme für eine kleine Abnahme der Entfernung deren dritter Potenz. In

ähnlicher Weise erklärt sich z. B. die rasche Abnahme der ablenkenden Wirkung großer Magnete auf eine kleine Kompaßnadel: es nimmt zwar die magnetische Wirkung an sich mit dem Quadrate der Distanz ab, die Differenzen der Wirkungen der beiden Pole fallen aber proportional dem Kubus.

Dennoch ist die Sonnenflut[1] nicht zu vernachlässigen. In den Syzygien wirkt sie mit der des Mondes zusammen, man erhält dann die ziemlich große Kraft $f_☾ + f_⊙ = 1{,}4\, f_☾$; in den Quadraturen sucht die Sonne ebendort Ebbe zu bewirken, wo der Mond eine Flut bewirkt; die Kraft ist hier also gleich $f_☾ - f_⊙ = 0{,}6\, f_☾$. Die Excentricität der Erdbahn ändert die Sonnenflut in ähnlicher Weise ab wie die Excentricität der Mondbahn die Mondflut, und außerdem ruft die wechselnde Stellung der beiden Himmelskörper zum Äquator einen großen Wandel der Erscheinungen hervor. Sehr mächtige Wirkungen entstehen, wenn um Neujahr, also zur Zeit des Perihel-durchganges der Erde, der Neu- oder Vollmond mit dem Perigäum zusammentrifft. Eine starke Annäherung des Mondes an einen seiner Knoten wird natürlich noch verschärfend wirken. Es ist, wie wir bereits früher (S. 265) bemerkt haben, der Rechnung gelungen, aus den Perioden, welche die Verwicklung des Erdenumlaufes mit der synodischen, anomalistischen und drakonitischen Revolution des Mondes in das Phänomen der Gezeiten hineinbringt, das Massenverhältnis zwischen Erde und Mond zu ermitteln und durch die befriedigende Übereinstimmung des gefundenen Wertes mit dem aus andern Methoden sich ergebenden einen neuen Beweis für die allgemeine Gültigkeit des Gesetzes der Schwere zu erbringen.

Der wechselvolle Bau der Festländer und ihrer untermeerischen Fortsetzungen verwickelt den Vorgang noch mehr. Ein näheres Eingehen hierauf muß jedoch der Geographie vorbehalten bleiben. Zwei Fragen sollen hier nur noch erörtert werden: wie verhalten sich die feste Masse und die luftförmige Hülle der Erdkugel gegenüber dem anziehenden Trabanten? und: lassen sich auf andern Himmelskörpern Vorgänge beobachten, die unsern Gezeiten ähnlich sind?

Für die Atmosphäre läßt sich natürlich ganz dieselbe Überlegung machen wie für die Wasserhülle oder Hydrosphäre. Zweifellos erfahren also die Luftteilchen in den Gegenden, welche den Mond im Zenith und Nadir heben, ganz ähnliche beschleunigende Wirkungen wie die darunter liegenden Wasserteilchen, und die Luftbewegung wird von den Festländern vielleicht weniger gestört als die des Wassers. Wenn nun trotzdem die beobachteten Gezeiten des Luftmeeres so gering sind, daß sie überhaupt nur mit Mühe aus den umfangreichen Zahlenreihen abgeleitet werden können, die die regelmäßigen

[1] Es mag noch bemerkt werden, daß die Sonnenflut und die von der ⊙ bewirkte Präcession die Centrifugalerscheinung darstellen, wonach S. 191 gefragt wurde.

Beobachtungen an den Wetterwarten der Neuzeit ergeben, so muß die Ursache darin gesucht werden, daß die vielen andern Bewegungen, die das Luftmeer auszuführen hat, die Gezeitenbewegung fast vollständig verdecken. Diese Bewegungen sind hauptsächlich die Folge der Erwärmung und Abkühlung des Luftmeeres, die sich über Ländern anders als über Gewässern gestaltet und außerdem nach der Breite wechselt; dann auch der Durchfeuchtung der Luft und der spätern Wiederverdichtung des Wasserdampfes, endlich auch der Rotation. Die viel größere und zähere Wassermasse hat sich mit den drei für sie in Betracht kommenden Umständen: Breitenunterschiede, Rotation und Landverteilung, seit Jahrtausenden durch das System der Meeresströmungen abgefunden, deren Bewegung, gleich der des Schwungrades einer Maschine, zwar im ganzen durch beständige Stöße erhalten werden muß, im einzelnen aber, also z. B. in den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, keine allzugroße Abhängigkeit von jenen Umständen verrät. Mit der gewaltigen Flutbewegung ist ein solcher Vertrag unmöglich, sie bleibt als täglicher Vorgang bestehen. Aber die sehr ausdehnbare und Wärmeänderungen leicht zugängliche Lufthülle bildet in raschem Wechsel an den verschiedensten Stellen der Erde Verdichtungen und Verdünnungen von mehr oder weniger großer Ausdehnung und Beständigkeit, und die hierdurch hervorgerufenen Bewegungen sind viel stärker als die, welche der Mond bewirkt.

Es ist leicht, nach der jeweiligen Stellung von Mond und Sonne kritische Tage erster, zweiter und dritter Ordnung zu prophezeihen, d. h. vorauszuverkünden, daß eine Sonnen- oder Mondfinsternis durch das Zusammentreffen von Syzygium und Knotendurchgang, vielleicht auch noch von Perihel und Perigäum, das Luftmeer in heftigster Weise erschüttern und die auffallendsten Wettererscheinungen hervorrufen werde. Die Bestätigung von einzelnen Punkten der Erde kann gar nicht ausbleiben; irgendwo wird es frieren, tauen, donnern und blitzen, stürmen und schneien. Aber für eine wirklich zuverlässige Prognose ist damit nichts gewonnen, und die Zähigkeit, womit sich der Aberglaube vom Einfluß des Mondes auf das Wetter noch immer zu halten weiß, rührt, wie schon Kepler richtig bemerkt hat, hauptsächlich daher, daß man nach Art der Frauen nur die zutreffenden Fälle bucht und die andern halb unbewußt unterschlägt.

Wie es der Wissenschaft gelungen ist, den sehr dürftigen Einfluß der fluterzeugenden Kraft des Mondes auf das Luftmeer bestimmt nachzuweisen, dabei aber zugleich darzulegen, daß dieser Einfluß thatsächlich fast immer zu vernachlässigen ist, so hat sie auch die äußerst geringe *Wärmezufuhr* von seiten des Mondes zu messen vermocht, für die Praxis aber dieselbe Entscheidung getroffen wie in Bezug auf die Gezeiten. Aus den Untersuchungen von Lord Rosse geht hervor, daß die Tagseite unseres Trabanten eine ziemlich große Menge von Sonnenwärme auffängt, und daß sie diese

weniger durch unmittelbare Zurückwerfung als durch nachherige eigene Strahlung ins Weltall verstreut. Die Unterschiede zwischen der Tages- und der Nachtseite müssen äußerst schroff sein; ist gar keine mildernde Lufthülle da, so kann man sie mit Lord Rosse auf 300° C schätzen. Jedenfalls haben die Messungen mit empfindlichen thermoelektrischen Apparaten gezeigt, daß für unsere Wettererscheinungen die vom Monde ausgesandte Wärmemenge bedeutungslos ist. Wenn trotz dieser negativen Ergebnisse der Volksmund an einem erheblichen Einflusse des Mondes auf das Wetter festhält, so muß man mit Achselzucken gestehen, daß daran nichts zu machen ist. Man dehnt gemeinhin den Begriff des Neumondes mindestens über 3, manchmal auf 5^d aus; dem Vollmonde ergeht es nicht besser, und wenn man um jedes Viertel auch nur 3^d rechnet, die unter dessen Einflusse stehen sollen, dann bleibt von der ganzen Lunationsdauer nur mehr die Hälfte übrig, und man kann namentlich in dem wechselvollen, durch den Verlauf der atlantischen Depressionen vorzugsweise bestimmten Klima von Mitteleuropa so ziemlich jede Wetteränderung, namentlich solche, die sich selbst erst in mehreren Tagen vollziehen, in das große Contobuch des Mondes eintragen.

Dieselben Gründe, welche gegen eine atmosphärische Ebbe und Flut sprechen, scheinen auf den ersten Blick für eine solche Erscheinung in der festen Erdhülle einzutreten. In der That: ist die Erde, wie die gleichmäßige Temperaturzunahme in den Bergwerken und Bohrlöchern anzudeuten scheint, schon in relativ geringer Tiefe feurig-flüssig, dann muß sie, sollte man meinen, nicht viel geringere Verschiebungen erfahren als die Gewässer; und da sie nicht mehr unter dem Einflusse der Sonnenwärme steht, auch durch keine zwischengelagerten festen Massen gegliedert ist, so muß sie die Gezeiten in noch einfacherer Form zeigen als die Wasserhülle.

Welche Folgen es hätte, wenn in der That die Erdkugel eine größtenteils flüssige Masse mit Ebbe und Flut wäre, das kann man sich leicht vorstellen, wenn man für den Augenblick annimmt, sie bestehe ganz aus Wasser. Sie wird sich dann unter dem Einflusse des Mondes in ein verlängertes Sphäroid verwandeln, und diese Wirkung betrifft nicht nur die oberste Hülle, sondern sie geht mit allmählich abnehmender Stärke bis zum Centrum; jede von den koncentrischen Wasserschalen, woraus wir die Kugel zusammengesetzt denken, wird zu einer sphäroidischen Schale, aber die innern Schalen werden weniger deformiert als die äußern, weil die Anziehungsunterschiede geringer sind.

Haben wir es nun aber mit einer größtenteils flüssigen Masse vom specifischen Gewichte 5,6 (vgl. S. 270) zu thun, lagert über dieser Masse eine relativ dünne Kruste von leichten Gesteinen, die ihrerseits größtenteils mit Wasser bedeckt ist, so wird das flüssige Innere zu einem Sphäroide; zu einer nur wenig stärker verzerrten Schale wird die Wasserhülle, und den

Übergang vermittelt die feste Kruste, die sich jedenfalls auch biegen, wenn auch vielleicht an zahlreichen Stellen reißen wird. Man wird dann auf der Erdoberfläche so gut wie gar keine Gezeiten wahrnehmen können; denn die Verschiebungsunterschiede zwischen Meer und Festland sind zu gering.

Da wir nun aber thatsächlich sehr bedeutende Gezeiten wahrnehmen, so muß umgekehrt geschlossen werden, daß das Erdinnere keine Gezeiten hat; mit andern Worten, daß sich die Erdkugel in Wahrheit als ein nahezu starrer Körper verhält. Genauere Rechnungen haben sogar gezeigt, daß man ihr mindestens die Festigkeit des Stahles zuerkennen muß, wenn man die beobachteten Gezeiten erklären will. Es scheint, daß auch der als Nutation bezeichnete Vorgang ein starres Erdinnere verlangt.

Nun weiß man freilich, daß alle irdischen Stoffe ihre bestimmten Schmelzpunkte haben, und man kann aus der Temperaturzunahme in den Bohrlöchern leicht die relativ geringe Tiefe berechnen, in der z. B. das Silber oder das Eisen flüssig sein muß. Dabei läßt man aber die gewaltige Druckzunahme außer acht. Wenn auch die Schwerebeschleunigung mit der Annäherung an das Centrum der Erde gleichmäßig abnimmt, so nimmt doch der Druck der überlagernden Massen, des Hangenden, wie der Bergmann sagt, beständig zu; die Massenverschiebungen, welche die hochgesteigerte Temperatur hervorzurufen strebt, scheitern beständig an diesem unüberwindlichen Drucke; ähnlich wird es sich mit Verschiebungen durch äußere Kräfte, z. B. die Anziehungskraft des Mondes, verhalten; kurz, die Erde ist wenigstens in etwa als ein starrer Körper anzusehen.

Über diese starre Erde ziehen nun täglich, genauer im Durchschnitt alle $24^h\ 50^m$, zwei Flutwellen, dem Monde folgend, in ostwestlicher Richtung dahin. Man bemerkt leicht, daß die Reibung dieser sich bewegenden Wasser die Rotation der Erdkugel verzögern muß. Man braucht sich ja nur vorzustellen, daß der Mond die Flutwelle festhält und der Erdball darunter weg rotieren muß.

Damit wäre für die Bewegung, die wir früher (S. 17) als die gleichmäßigste von allen uns bekannt gewordenen gerühmt haben, die Möglichkeit, ja die Notwendigkeit einer Änderung nachgewiesen. Auch andere Vorgänge scheinen in diesem Sinne zu wirken. Es wird sich (in Kap. 32; vgl. auch S. 189—191) zeigen, daß die Erde beständig von sehr kleinen Weltkörperchen getroffen wird, die größtenteils durch Reibung an der Atmosphäre verbrennen, zum geringern Teile aber in festem Zustande ins Meer oder auf das Festland stürzen. Sie bewegen sich nach den verschiedensten Richtungen, und da ihr Lauf im ganzen keine Beziehung zur Äquatorebene zu haben scheint, so wird ihre Gesamtwirkung ein allmähliches Verzögern der Rotation sein.

Auch die wechselvollen Bewegungen, die man als Winde und Meeresströmungen zusammenfaßt, müssen in demselben Sinne wirken, und wenn

sich die Erde gar noch in einem leicht widerstrebenden Mittel bewegt, wie vielleicht die Erscheinung der leuchtenden Nachtwolken[1] andeutet, so ist eine weitere verzögernde Ursache gefunden.

Es ist nun noch die Frage, ob die von allen diesen Ursachen bewirkte Verzögerung mit den jetzigen Mitteln der Wissenschaft thatsächlich nachgewiesen werden kann. Ist die Erdkugel starr, dann kann man sie als ein großes Schwungrad auffassen, dessen Rotationsgeschwindigkeit durch relativ so kleine Massen, wie die Meeresfluten und die aus dem Weltraume kommenden Meteoriten, vielleicht nicht in merkbarer Weise gestört wird.

Andererseits kann man auch eine Ursache nennen, die beschleunigend wirkt. Durch die auch im gewöhnlichen Sinn feste Kruste, die aus ziemlich leichten Gesteinen vom specifischen Gewichte 2 bis 3 besteht, giebt das massenhafte Innere seine Wärme sehr langsam an das Weltall ab. Es zieht sich bei der Erkaltung zusammen, und die nicht mehr gestützte Kruste rückt nach, wobei sie sich faltet wie die Schale eines im Innern schwindenden Apfels. Durch diesen Schrumpfungsvorgang erklären die Geologen[2] die Entstehung der Kettengebirge. Es ist klar, daß die Erde als Ganzes dabei kleiner werden muß; und ein bestimmtes Oberflächenteilchen, das anfangs einen großen Parallelkreis etwa in 50° Breite zog, wird deshalb nach längerer Zeit in derselben Breite einen etwas kleinern Parallelkreis beschreiben. Da es aber nach dem Trägheitsgesetze die alte Geschwindigkeit beibehält, so beschleunigt sich die Rotation im ganzen.

Die Frage nun, ob schließlich die verzögernden oder die beschleunigenden Einflüsse überwiegen, ist darum schwer zu beantworten, weil auch nicht für eine einzige von den auftretenden Kräften ein bündiger mathematischer Ausdruck gegeben werden kann. Die Frage kann also nur von der Erfahrung beantwortet werden, und da steht die Sache so:

Wenn auch der Physiker dem Philosophen die Antwort auf die Frage, was Zeit ist, zuschieben muß, so kann er doch die Gleichheit von zwei Zeitabschnitten selbständig definieren: es sind Zeitabschnitte, worin sich genau übereinstimmende Erscheinungen unter gleichen Umständen abspielen; so die Zeiten für die Schwingungen eines Pendels, das vom Uhrwerke immer denselben Antrieb erfährt; so die Umläufe eines Himmelskörpers um einen andern, wenn alle störenden Einflüsse vernachlässigt werden können.

Die Richtigkeit dieses Princips beruht darauf, daß es der Erfahrung entspricht und die Vorhersage künftiger Erscheinungen gestattet. Ich kann nicht wissen, ob nicht meine Taschenuhr augenblicklich etwas vorgeht, und von der Turmuhr und der Zimmeruhr weiß ich das auch nicht. Habe ich aber gestern alle Uhren im Hause nach der Turmuhr gestellt, und hat

[1] Vgl. Jakob a. a. O. S. 188—190. [2] Vgl. ebend. S. 369 ff.

sich bei mehrmaligem Zusehen im Laufe des Tages Übereinstimmung gezeigt, dann kann ich mindestens verbürgen, daß alle Uhren gleichmäßig gegangen sind.

Kommt jemand zu spät zur Abfahrt des Zuges, obgleich er die Länge des Weges gekannt, auch Uhr und Fahrplan zu Rate gezogen hat, so wird er sich sagen: Meine Uhr hat verloren, seitdem ich sie zuletzt gestellt habe. Vielleicht mag er zunächst behaupten, der Zug sei zu früh abgefahren; aber ein Hinweis seiner Bekannten auf ihre Uhren wird ihn veranlassen, sich zu bescheiden.

Die große Uhr, wonach wir alle Bewegungen im Weltraume berechnen, ist unsere Erde. Von ihrer als konstant betrachteten Rotationsdauer, dem sogen. Sterntage (vgl. S. 28—29), wird ein künstliches konstantes Maß, der mittlere Sonnentag (S. 69 ff.), abgeleitet, wir zählen die Sonnentage kalendarisch oder julianisch (S. 131) und beziehen auf dieses Zeitmaß die Umläufe und Rotationen aller Himmelskörper, soweit wir sie messend verfolgen können.

Ein Zurückbleiben unserer Uhr würde sich offenbar in einer scheinbaren Beschleunigung aller dieser Umläufe und Achsendrehungen verraten, in einer Beschleunigung, wofür wir keinen andern Grund angeben könnten als eben die Verlängerung des Sterntages. Je weiter die ältesten uns bekannten Beobachtungen eines Himmelskörpers zurücklägen, desto mehr Aussicht hätten wir, die Veränderungen des Sterntages zu messen.

Nun giebt es sehr alte Mondbeobachtungen, z. B. die Aufzeichnungen über Finsternisse, womit man gleichzeitig ein Datum für den Neu- oder Vollmond und ein angenähertes für den Knotendurchgang erhält. In der That hat man aus der Nichtübereinstimmung der alten Beobachtungen mit den neuern höchst sorgfältig berechneten Elementen der Mondbewegung auf eine theoretisch unerklärbare säkulare Beschleunigung im Laufe des Mondes, in Wahrheit also auf eine sehr geringe Verzögerung der Rotation der Erdkugel schließen wollen.

Allerdings nimmt die mittlere Mondbewegung gegenwärtig aus einem verhältnismäßig leicht festzustellenden Grunde ein wenig zu. Da nämlich die Excentricität der Erdbahn zur Zeit (vgl. S. 256) abnimmt, während die große Achse konstant bleibt, so ist jetzt durchschnittlich das System ♁ ☾ in größerem Abstande von der Sonne als etwa vor 100 Jahren um dieselbe Jahreszeit. Die störende Sonnenwirkung auf den Mond, welche in einer Bahnverzögerung besteht, wird damit kleiner, d. h. der Mond geht schneller.

Als nun aber Hansen die Acceleration der Mondbewegung auf $12'', 18 \cdot t^2$ in t Jahrhunderten bestimmte, und zwar nicht theoretisch, sondern erfahrungsgemäß aus den im Altertum vermerkten Finsternissen, da zeigte sich ein Unterschied gegen die theoretisch von Delaunay bestimmte Accele-

ration. Sie darf, wenn man von der bekannten Veränderung der Erdbahn-Excentricität ausgeht, nur einen halb so großen Koefficienten haben. Die andere Hälfte ist Delaunay geneigt auf Rechnung der Gezeitenreibung zu setzen, die nach seiner Ableitung in 10 000 Jahren die Rotation der Erde vielleicht um 1^s verlangsamen kann. Damit wäre also ein Überwiegen der verzögernden Einflüsse festgestellt. Jedenfalls kann die Veränderung des Sterntages überhaupt nur klein sein; denn die seit dem Altertum genau bekannten Umlaufszeiten der großen Planeten, z. B. des Jupiter, lassen noch keine erwähnenswerte Änderung erkennen. Kleine periodische Änderungen glaubt man neuestens durch Beobachtung der Jupiters monde festgestellt zu haben. Ohne Zweifel werden die Bewegungen dieser Gestirne auf die Dauer zur Beantwortung der Frage besser geeignet sein; denn sie sind (vgl. S. 356) einfacher und von der Rechnung leichter zu bewältigen. Zudem hat man neuestens noch die Möglichkeit einer bisher unbeachteten Ursache für eine thatsächliche Beschleunigung im Mondlaufe aufgedeckt. Die auf die Erde fallenden Meteoriten vermehren ihre Masse; auch der Mond fängt jedenfalls solche Himmelskörper ein, und aus beiden Gründen wird die Anziehung zwischen ihnen stärker, d. h. der siderische Monat verkürzt sich. Da die Meteoriten auch noch die Rotation verzögern, so hätte man zwei Gründe für die Abweichung der Hansenschen Zahl von der Rechnung; über die Masse der etwa in einem Tage zur Erde fallenden Meteoriten hat man allerdings auch nur Vermutungen.

* * *

Im Laufe der Zeit wird jedenfalls die säkulare Abkühlung der Erde und damit die säkulare Beschleunigung ihrer Rotation zunehmen, gleichzeitig wird sich aber auch die verzögernde Wirkung der Gezeiten aufsummen. Delaunay glaubt, daß am Ende die Meere zu Eis erstarrt sein werden, ehe die Gezeitenreibung es dahin bringen wird, die Achsendrehungszeit der Erde gleich der Umlaufszeit des Mondes zu machen.

Denn auf dieses Ziel steuert die Flutreibung offenbar los. Ist der Sterntag länger geworden, dann ist es auch die Zeit, die die Flutwellen für einen Umlauf um die Erde brauchen. Aber die Reibung ist noch da, und sie verzögert die Rotation noch weiter. Geht der Mond in einer Kreisbahn, und ist schließlich die Achsendrehungszeit der Erde gleich $27^1/_3{}^d$ geworden, so wendet sie dem Satelliten immer dieselbe Seite zu. Zenithflut und Nadirflut bleiben dann an denselben Punkten stehen, und da, wie wir wissen, auch der Mond immer dieselbe Seite zur Erde hinwendet, kann man sich die beiden umeinander laufenden Körper als zusammengespießt vorstellen. Wir möchten glauben, daß dieser Zustand auf die Dauer eintreten wird; denn die Sonnenwirkung wird sich im wesentlichen gleich bleiben, da

sich dieser Körper bei seiner größern Masse viel langsamer abkühlt als die Erde. Die Sonne wird, ob die Tage die jetzige oder die zu erwartende 27fache Länge haben, die Meere vor Erstarrung bewahren. Die Frage ist freilich, ob nicht inzwischen die Wasser zum größten Teile in die Erde eingedrungen sind; je kälter die Erdkruste in größerer Tiefe ist, desto mehr Wasser kann sie aufnehmen.

Ob nun die Gleichheit von Erdrotation und Mondumlauf eher eintreten wird als die Aufsaugung des größten Teiles der Gewässer, das kann man auch vermutungsweise kaum ausmachen. Es sei noch erwähnt, daß das Bild von den aneinander gespießten Weltkörpern nicht ganz wörtlich zu nehmen ist: die Excentricität der Mondbahn wird eine kleine Libration zuwege bringen, die natürlich wieder Energie verbraucht, wahrscheinlich auf Kosten der Umlaufsgeschwindigkeit. Damit wäre die Gefahr eines schließlichen Zusammensturzes der beiden Weltkörper gegeben.

Fast unvermerkt sind wir so auf die vorhin (S. 362) gestellte Frage zurückgekommen, ob sich auf außerirdischen Körpern Erscheinungen nachweisen lassen, die an unsere Gezeiten erinnern. Man denke sich den Mond ebenso schnell rotierend, wie es gegenwärtig die Erde thut; er sei außerdem mit Wasser bedeckt. Die Anziehung des 81mal massenhaftern Erdkörpers wird dann gewaltige Fluten auf der Mondoberfläche entstehen lassen. Allerdings wird die fluterzeugende Kraft im Verhältnisse 2 : 7 (nämlich dem einfachen Verhältnisse der Durchmesser, vgl. S. 103) geschwächt sein; sie bleibt aber noch recht groß, zumal wenn wir bedenken, daß das irdische Flutsphäroid seine Excentricität dem Zusammenwirken von Mondkraft und Erdschwere verdankt; auf dem Monde ist, wie sich aus dem Unterschiede der Massen und Volumina ergiebt, die Schwere etwa sechsmal geringer als bei uns (S. 271). Die Fluten werden zu erstaunlicher Höhe ansteigen, und viel rascher als hienieden werden sie die Rotationszeit gleich der Umlaufszeit machen, d. h. es wird relativ sehr schnell der Zustand herankommen, den wir eben thatsächlich beobachten. Ist erst die eine Periode gleich der andern, so bleibt sie es, wie die Rechnung zeigt, auch beim Fehlen jeder Wasserhülle und selbst bei größern periodischen Beschleunigungen und Verzögerungen des Umlaufes.

Ist der Mond in frühern Zeiten gänzlich oder zum größten Teile mit Wasser bedeckt gewesen? Man kann die Möglichkeit nicht abweisen, und wenn man die Wasserbedeckung annimmt, erklärt sich ungezwungen die vollkommene Gleichheit der Perioden für Rotation und Umlauf. Ferner: wo immer man zwei umeinander laufende Himmelskörper antrifft, deren Größen mit ihrem Abstande einigermaßen vergleichbar sind, da wird man, wenn die Beobachtungen wenigstens an einem die Gleichheit jener Perioden erkennen lassen, in diesem Umstande eine Folge der Gezeitenreibung erblicken dürfen. Venus z. B., die ungefähr die Größe der Erde hat, ist der Sonne schon so

nahe, daß die der dritten Potenz des Abstandes reciproke fluterzeugende Kraft nicht weniger als 2,6mal so stark ist wie bei uns; für den viel kleinern Merkur (vgl. die Größenübersicht Fig. 117, S. 359) wäre auch die Flut merklich kleiner, wenn er nicht wieder der Sonne viel näher gerückt wäre. So begreift man, daß in dem Streite um die Rotationen von Merkur und Venus mancher geneigt ist, sich der Theorie zu liebe für die langen Perioden auszusprechen.

* * *



Fig. 119. Skelettkarte des Mondes. (Nach Nasmyth u. Carpenter, Der Mond.)

Nachdem Fig. 39 (S. 113) die Gestaltung der Mondoberfläche im allgemeinen angedeutet hat, sollen einige andere Abbildungen unsere Kenntnisse darüber noch etwas erweitern. Die wichtigsten von den sogen. Meeren und den Ringgebirgen stellt die Skelettkarte (Fig. 119) schematisch dar. Wie Fig. 39 ist sie bezogen auf den Anblick im umkehrenden Fernrohr, den der Mond einem europäischen Beobachter, von der täglichen Libration abgesehen, unter mittlern Verhältnissen, nämlich für den Zusammenfall vom

Perigäum oder Apogäum mit einem Knotendurchgange darbietet; die verschiedenen Librationen (vgl. S. 118—120) ändern den Anblick ein wenig, wie man z. B. an dem Mare crisium bemerkt, dessen Entfernung vom Rande man schon nach wenigen Tagen etwas geändert sehen kann. Will man mit dem freien Auge oder dem Opernglase die größern Meere bestimmen, dann hat man natürlich die Abbildungen umzukehren.

Einigermaßen an die Gestalt eines Hirschkäfers erinnert die Gesamtheit des großen schwarzen Fleckens auf der vorangehenden (westlichen) im zunehmenden Monde beleuchteten Hälfte der Scheibe. Vergleicht man Bild und Karte, so kann man in den Freßzangen des Käfers die Maria foecunditatis und nectaris, in dessen Brust und Rumpf die Maria tranquillitatis und serenitatis entdecken. Seitlich steht Mare crisium, das in seiner schönen, nur durch die Projektion (vgl. S. 113) verzerrten Kreisgestalt schon einen Übergang zu den größern Ringgebirgen (Wallebenen) andeutet. Im abnehmenden Monde sieht man rechts unter den sofort hervortretenden Apenninen das Mare imbrium; dann sind Oceanus procellarum und Mare nubium leicht zu finden.

Auf dem Vollmonde sieht man natürlich alle diese Flecken auf einmal, aber nicht so scharf umrissen wie in den Vierteln. — Da der Vollmond die ganze Nacht hindurch leuchtet, kann man sich auch davon überzeugen, daß die Flecken von Stunde zu Stunde ihre Stellung gegen den Horizont ändern. Diese auch bei den Sonnenflecken zu beobachtende Erscheinung hat natürlich nichts mit der Rotation zu thun; es hat sich eben nur die Lage der Horizontalebene im Raume geändert.

Während die Apenninen ein Kettengebirge darstellen, sind die meisten andern Gebirge des Mondes ringförmig. Die wichtigsten unter diesen Ringgebirgen findet man auf der Skelettkarte durch Zahlen angegeben. Die Namen, welche man ihnen, meistens zur Ehrung berühmter Mathematiker, Physiker und Astronomen, erteilt hat, sind in nachstehender Tafel unter Hinweis auf die Zahlen der Karte alphabetisch zusammengestellt.

Verzeichnis der wichtigern Ringgebirge des Mondes.

Die Zahlen beziehen sich auf die Karte Fig. 119.

Abulfeda . .	107	Apollonius .	154	Azophi . .	76	Bonpland .	116
Agrippa . .	151	Arago . . .	152	Bacon . .	17	Borda . .	56
Airy . . .	93	Archimedes .	191	Baily . . .	207	Boscovich .	160
Albategnius .	109	Aristarchus .	176	Barocius . .	34	Bouvard . .	40
Aliacensis .	61	Aristyllus .	190	Bessel . . .	179	Briggs . .	196
Almamun .	94	Aristoteles .	209	Bettinus . .	11	Bullialdus .	86
Alpetragius .	92	Arzachel . .	84	Bianchinus .	215	Bürg . . .	206
Alphonsus .	110	Atlas . . .	228	Billy . . .	121	Callippus .	199
Apianus . .	62	Autolycus .	189	Blancanus .	12	Campanus .	71

Außer diesen größern Ringgebirgen sind nun sehr viele kleinere runde Gebilde, sogen. Krater, auf dem Monde. Die Karte von Julius Schmidt enthält deren weit über 32 000.

Einen etwas größern Maßstab als Fig. 119 haben die schönen Bilder Fig. 120 und 121, die zwei benachbarte Mondgebiete nach Photographien der vatikanischen Sternwarte darstellen. Fig. 120 zeigt die vom Terminator abgeschnittene vorangehende Hälfte der Apenninen. Darunter ist das rechtwinkelige Dreieck Aristyllus-Autolycus-Archimedes zu erkennen, weiter oben Triesnecker, Ukert, Pallas. Links unter den Apenninen beginnt der Kaukasus. Oben rechts in der Ecke ist Ptolemäus mit dem gerade darunter hängenden viel kleinern Ringgebirge Herschel; links davon tritt das große runde Gebiet Hipparchus etwas weniger gut heraus, da es sehr flach nach innen abfällt. Fig. 121 hat Hipparchus etwas rechts von der Mitte, darüber Albategnius; rechts vom Hipparch steht, von unten nach oben gerechnet, die Kette Herschel-Ptolemäus-Alphonsus-Arzachel-Purbach. Einige kleinere Gebirge auf beiden Bildern kann man nach der Karte leicht benennen.

Süd.



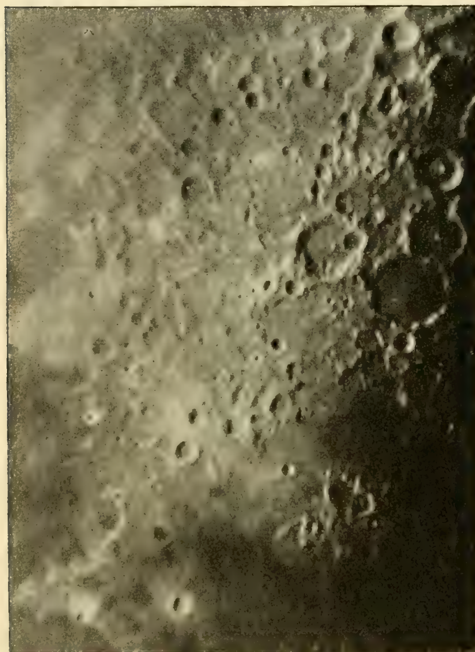
Nord.

Fig. 120. Mondgebiet südlich von den Karpaten.
Nach einer vatikanischen Photographie.

Die weiten Ebenen links in Fig. 120 sind die Maria serenitatis und (oben) tranquillitatis; man bemerkt, daß sie nicht vollständig flach sind und allmählich in die benachbarte Gebirgsgegend übergehen. Vergleicht

man die Gegend zwischen Hippardh, Albategnius und Ptolemäus auf den beiden Bildern, so erkennt man, wie sehr die etwas geänderte Sonnenbeleuchtung das Bild verwandelt hat. Gilt dieses schon für die Photographie, so begreift man, daß es in noch höherem Maße für die Zeichnungen am Fernrohr gelten wird, wobei auch die Stellung zum Horizonte in Betracht kommt. Auf Grund der sehr abweichenden Darstellungen einzelner Mondgebiete durch verschiedene Beobachter wird von Zeit zu Zeit angegeben, daß in den kleinsten Mondgebilden noch in unsern Tagen merkliche Änderungen vor sich gehen. Ohne die Möglichkeit solcher Ereignisse leugnen zu wollen, wird man im einzelnen doch sehr zurückhaltend sein dürfen.

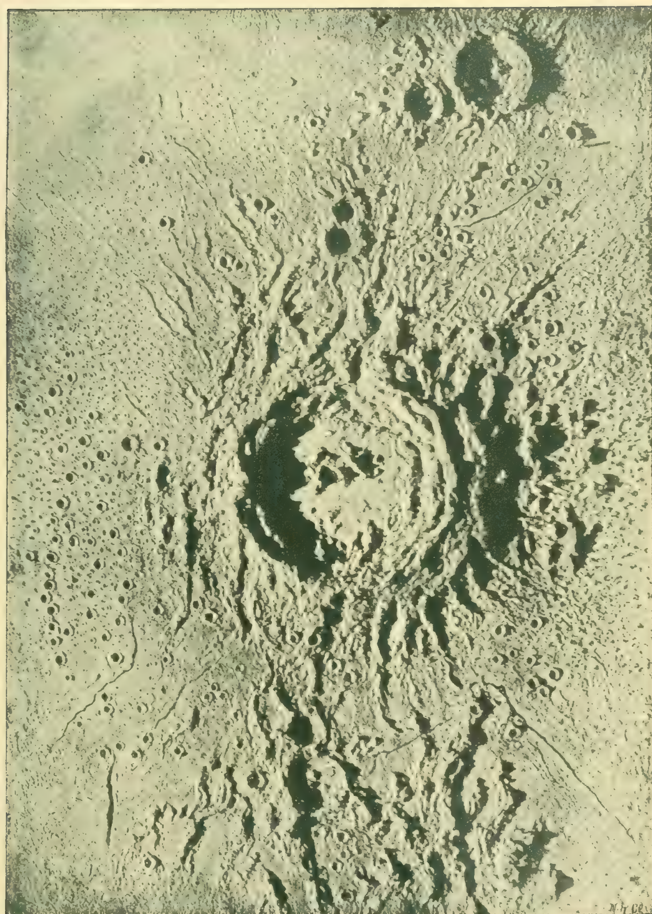
Süd.



Nord.

Fig. 121. Mondgebiet um Hipparchus. Nach einer vatikanischen Photographie.

Die Apenninen weisen rechts oben auf das prächtige Ringgebirge (147), dem man den Namen des großen Begründers der neuern Astronomie gegeben hat. Die Darstellung, welche wir in Fig. 122 von dem Coppernicus geben, beruht nicht auf einer Originalaufnahme; Nasmyth und Carpenter haben nach den besten Beobachtungen einen großen Mondglobus hergestellt und einzelne Teile davon, hierunter auch das genannte Ringgebirge, photographiert. Neuerdings ist es übrigens durch Vervollkommnung der Platten gelungen, Originalaufnahmen so stark zu vergrößern, daß sie ohne merkbare Einbuße an Treue und Deutlichkeit des Bildes ein solches Mondgebiet noch in weit größerem Maßstabe wiedergeben. Der Maßstab unseres Bildes ist



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 374.

Fig. 122. **Das Ringgebirge Coppernicus.**

(Nach Nasmyth u. Carpenter, Der Mond.)

1 : 1 930 000, so daß ein Millimeter auf der Karte 1,93 Kilometer auf dem Monde ausmacht; die perspektivische Verkürzung vernachlässigen wir, da der Krater der Mitte des Mondes ziemlich nahe steht.

Die Schatten, welche die lunaren Berge auf die benachbarten Ebenen werfen, bieten in ihrer großen Schärfe, die von dem Mangel eines dichten Luftmeeres (vgl. S. 113) herrührt, ein ausgezeichnetes Mittel zur Höhenmessung. Wie man hienieden die Höhe eines Turmes aus der Winkelhöhe der Sonne und der Schattenlänge berechnen kann, so kann man auf dem Monde gleichfalls die Sonnenhöhe für einen jeden Punkt angeben, da man die Lage des Terminators kennt; der perspektivisch verkürzte Schatten wird im Bogenmaße gemessen und läßt sich vermöge unserer Kenntnis von den Dimensionen des Mondes und der Lage des Berges auf ihm auch in metrisches Maß umsetzen. Eine andere Methode ergiebt sich aus der Wanderung des Grenzkreises über die für uns sichtbare Mondhälfte. Wie Fig. 39 (S. 113) erkennen läßt, werden hierbei auf der Nachtseite einzelne Bergringe *schon* oder *noch* von der Morgen- oder Abendsonne beleuchtet, während die umgebenden Thäler *noch* oder *schon* tiefe Dunkelheit haben. Aus der bekannten Entfernung dieser Ringe von dem Terminator kann man dann in geometrisch leicht ersichtlicher Art auf ihre Höhe schließen. Nebenbei erklärt sich hieraus auch der unregelmäßige Verlauf des Grenzkreises.

Will man sich die Größenverhältnisse des Coppernicus richtig vorstellen, dann zeichnet man am besten auf durchsichtiges Papier eine Karte der engern Heimat in dem vorhin angegebenen Maßstabe; es genügt, wenn die wichtigsten Orte durch Punkte und Buchstaben kurz bezeichnet werden. Legt man eine solche Skizze auf unser Bild Fig. 122[1], dann zeigt sich, daß auf unserer Erde ein so großartiges Gebirge kaum anzutreffen ist. Der größte Durchmesser beträgt etwa 90 km, gerechnet von Grat zu Grat; für den Flächeninhalt erhält man also 6400 qkm, etwa $^2/_5$ von Baden oder $^1/_3$ von Westfalen. Eine viel größere Fläche nehmen die Umgebungen weg; dabei ist noch zu bedenken, daß sich das Gebirge nahezu 4000 m über den innern Kessel erhebt, der seinerseits auch noch etwas höher ist als das umgebende, mit zahllosen kleinen Kratern übersäte Gebiet. Kommen auch auf der Erde viel größere absolute Höhen vor als 4000 m, so sind doch relative Erhebungen dieser Art in solchem Umfange nicht leicht zu finden. Von den Bergen, die in dem Kessel stehen, sind einige auch noch ihre 800 m hoch.

Unser Staunen wächst, wenn wir sehen, mit welcher Schnelligkeit die Bergumwallung ansteigt. So schroffe Formen haben wohl unsere Reliefkarten

[1] Die Nasmythschen Bilder werden wegen ihrer plastischen Wirkung gern zur Projektion mit dem Scioptikum benutzt. Wir pflegen in diesem Falle eine Kartenskizze von der beschriebenen Art gleich mit dem Glasbilde zu projicieren, wodurch die Anschauung unterstützt wird.

von den irdischen Hochgebirgen, wo die Höhen stark übertrieben sind, nicht aber diese Gebirge selbst. Die wilde Großartigkeit der Mondformen erklärt sich, wie schon früher (S. 271) angedeutet wurde, aus der sechsmal geringern Schwere. Ihr zufolge kann ein Gegenstand durch irgendwelche Kräfte viel höher geschleudert werden als bei uns. In der That sind die allerhöchsten Mondberge nach den Messungen von Julius Schmidt ungefähr den höchsten irdischen gleich, wobei aber zu bedenken ist, daß auf dem Monde immer nur relative Höhen gemessen werden können, da es an einem Meeresniveau fehlt, und auch, daß bei der geringern Größe des Mondes gleiche Höhen auf diesem mehr ausmachen als auf der Erde. Welche Kräfte haben nun diese gewaltigen Ringgebirge aufgetürmt? Die Ähnlichkeit bestimmter Mondgebiete mit gewissen vulkanischen Gegenden der Erde ist groß genug, um der Vermutung Raum zu geben, daß ähnliche Ursachen gewirkt haben. Auch die Mondoberfläche wird die Wärmeabgabe eines heißen Innern vermittelt haben; sie hat sich dabei gefaltet, ist hie und da geborsten, und die schwächern Stellen hat glühende Lava aus dem Innern durchbrochen, hier langsam einen Berg aufbauend, dort durch plötzliches Hervorbrechen einen andern zerstörend. Einige Hauptunterschiede sind freilich nicht zu leugnen. Von dem kleinsten, vielleicht 1000 m im Durchmesser haltenden Kraterloche in der Umgebung des Coppernicus, das die Fläche eines mäßig großen Landgutes einnimmt, bis zum Coppernicus selbst, ja vielleicht bis zum Mare crisium, sehen wir einen allmählichen Übergang, wie er sich auf der Erde nicht findet[1]. Was ist das Ätnagebirge mit seinen 37 km Durchmesser und 3300 m Höhe gegen den Coppernicus, dessen Ränder in viel steilerer Böschung eine bedeutendere Höhe erreichen, während das Innere fast ebenso tief liegt wie die Umgebung? Ferner bemerkt man, daß die meisten größern Ringgebirge in der centralen Vertiefung einen oder mehrere Berge besitzen; deutlich zeigen das Fig. 120 und 121. Nun zeigen zwar die irdischen Vulkane hier und da ähnliches, aber doch nicht dasselbe. So ist der Nachbargipfel des Vesuvs als der Rest eines Mantels zu deuten, der früher den Vulkan umgeben hat, wie Coppernicus die Berggruppe im Innern. Aber das Größenverhältnis ist doch nicht dasselbe. Endlich muß auffallen, daß die meisten Kraterlöcher tiefer sind als die Flächen, welche die Ringe umgeben; Coppernicus zeigt freilich das umgekehrte Verhalten.

Nimmt man an, daß auf dem Monde in alten Zeiten eine gewaltige vulkanische Thätigkeit bestanden hat, die durch die geringe Schwere und auch wohl durch das Fehlen eines größern Luftdruckes und Luftwiderstandes

---

[1] In Fig. 121 hat man etwa 300 km von der Mitte des Arzachel bis zur Mitte des Herschel. Hieraus lassen sich die Größenverhältnisse von Fig. 120 und 121 beurteilen.

unterstützt wurde, so kann man die vom Coppernicus ausstrahlenden langen und steilen Ketten vielleicht als erstarrte Laven deuten. Vielfach wird die Mondkruste bei den heftigen Erschütterungen geborsten sein; es ist möglich, daß die Rillen darauf zurückzuführen sind, jene langen, schmalen und tiefen Gräben, wie sie auch auf dem Coppernicusbilde zu finden sind. Endlich sind die gleichfalls strahlig angeordneten hellen Streifen, die man namentlich vom Tycho ausgehen sieht, nicht ungeschickt als Ergebnisse der Erstarrung (Sublimation) von Gasen aufgefaßt worden, die längs der Bruchspalten aufstiegen, wie in den Fumarolen unserer vulkanischen Gegenden.

Bei alledem muß man sich sagen, daß wir, obgleich uns die sichtbare Mondhälfte besser bekannt ist als manche Gegenden der Erde, doch von einer einwurfsfreien, mathematisch durchgebildeten Theorie der Mondoberfläche noch recht weit entfernt sind. Wissen wir doch nicht, inwieweit das Wasser bei deren Bildung mitbeteiligt war; ob die Ringgebirge schon entstanden sind, als die sogen. Meere auf diesen Namen noch ein Recht hatten, oder in viel späterer Zeit, als das Wasser vom Gestein gebunden war, oder ob das Auftreten von Kratern den Vorgang der Wasseraufsaugung begleitet hat.

Die Entstehung vieler kleinern Krater wollen einige aus dem Aufschlagen von Meteoriten erklären. Es ist ja wohl richtig, daß der Niedergang großer Eisen- und Steinmassen dort bedeutende Verwüstungen anrichten muß; denn sie treffen den Mond mit planetarischen Geschwindigkeiten, d. h. sie legen mehrere Zehner von Kilometern in der Sekunde zurück. Bei uns werden diese gewaltigen Bewegungen durch Reibung und Widerstand in der Atmosphäre so gehemmt, daß schließlich die Massen nur durch ihre Schwere herabstürzen, soweit sie nicht in der Luft verflüchtigt sind. Auch würden die oft erstaunlich großen Massen, die den Erfahrungen zufolge in unserem Luftmeere durch die äußerliche Erwärmung zerplatzen und über weite Gebiete zerstreut werden, drüben unzerteilt mit voller Gewalt ihr Ziel treffen. So mag sich manches kleinere Bodenloch im Monde erklären, nicht aber, wie wir meinen, die typische Kratergestalt. Da jedoch diese äußere Ursache zweifellos noch heutzutage wirkt, so mag man ihrer immerhin gedenken, wenn von Neubildungen auf dem Monde in verbürgter Weise erzählt wird.

* * *

Ist der Mond bewohnbar? Für Wesen unserer Art ist er es jedenfalls nicht, und zwar die abgewandte Seite so wenig als die zugewandte, oder vielmehr als die größere Hälfte der Mondfläche, die wir infolge der Librationen nach und nach zu sehen bekommen. Eine mindestens äußerst dünne Lufthülle, ein mindestens nahezu wasserloses Erdreich, eine sechsmal geringere Schwerkraft, eine blendende, durch keine Atmosphäre gemilderte

Tageshelle, eine sengende Tageshitze von 354 unserer Stunden, die alles Gestein hoch über den Siedepunkt des Wassers erhitzt, eine ebenso lange Nacht mit unverminderter Ausstrahlung gegen den kalten Weltraum[1] — das sind, vom Menschen zu schweigen, überhaupt für belebte Geschöpfe, wie wir sie kennen, keine Daseinsbedingungen. Nun hat man die ewig abgewandte kleinere Hälfte für das organische Leben retten wollen: die Gleichheit der Perioden von Rotation und Umlauf erheische Druckunterschiede, wodurch Wasser und Luft für ewig an jene Seite gebannt würden. Man hat da gut vermuten; niemand kann nachsehen, ob es richtig ist. Auch hat man Luft und Wasser in die tiefsten Kraterhöhlen bannen wollen, wo sich dann auch lebende Wesen ansiedeln könnten. Wer weiß es? Für den Astronomen aber ist der Mond wenigstens jetzt noch eine ausgebrannte, unheimlich starre und tote Gesteinsmasse, die uns das künftige Schicksal unserer eigenen Erde vor Augen zu führen scheint.

Denkende Geschöpfe, die auf der abgewandten Mondhälfte lebten, würden aus den Beobachtungen der Himmelskörper die drei Mondbewegungen ableiten können. Zunächst würde ihnen die regelmäßige scheinbare Bewegung des Fixsternhimmels um eine durch das Sternbild des Drachen gehende Achse bei gehörigem Nachdenken die Überzeugung verschaffen, daß ihr eigenes Gestirn im Laufe eines lunaren Sterntages, d. h. in $27^1/_3$ unserer Sonnentage, eine Rotation vollzieht. Sie würden ferner den Jahreslauf der Sonne als das Ergebnis ihrer eigenen jährlichen Bewegung deuten. In die jährliche Kreisbewegung der Sonne wäre ein Epicykel vom Radius 1 : 400 oder etwa 9′ eingeschaltet: eine Folge des siderischen Umlaufes um die Erde. Die Gleichheit der Periode dieses Epicykels mit ihrem Sterntage müßte den Mond-Astronomen den Anlaß zur richtigen Vermutung, vielleicht aber auch zu lebhaften Streitigkeiten geben. Derselbe Epicykel wäre natürlich auch mit etwas veränderlicher Größe in die Bewegungen des Merkur, der Venus und des Mars eingeschaltet, während er für Jupiter und Saturn erheblich kleiner ausfiele. Ein Beobachter auf der uns zugewandten Mondhälfte würde unter den regelmäßig auf- und untergehenden Gestirnen die Erdscheibe, die ihnen 13mal[2] größer erschiene als uns der Mond, in großer Ruhe verharren sehen; nur ein langsames, an die Periode des lunaren Sterntages gebundenes Hin- und Herschwanken, die Libration, würde im Verein mit der Veränderlichkeit der Lichtgestalten der Erde und mit ihrer täglichen Parallaxe den Sachverhalt aufklären, und die Ergebnisse würden

---

[1] Zweifellos wird dieser schroffe Wechsel die Mondrinde noch immer mehr zerklüften, zumal die schlechter leitenden Gesteine. Einzelne kleine Rillen mögen so entstanden sein.

[2] Im Durchmesser nur $3^1/_2$mal.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 379.

Fig. 123. **Die Erde vom Monde aus gesehen.**

durch den von der Sonne und den Planeten beschriebenen Monatsepicykel bestätigt werden.

Die Seleniten[1], die man sich auf der zugewandten Mondhälfte denken mag, hätten dann vielleicht zur Zeit der Vollerde von einem ihrer hohen Berge aus den Anblick, den unsere Fig. 123 wiederzugeben sucht[2]. Zu Füßen des Beobachters eine wild zerrissene, mit Kratern besäte Landschaft, deren graugrüne Farbe grell beleuchtet ist vom vollen Lichte unseres Planeten. Dieses Licht wird desto heller sein, je bewölkter die Erde ist; aber auch in der ruhigen Klarheit, die das Bild darstellt, wird man sich die Beleuchtung nicht zu schwach vorstellen dürfen, da sie für uns (vgl. S. 114) aus so weiter Ferne noch als aschgraues Licht zu sehen ist. Da keine durchstrahlbare Atmosphäre vorhanden ist, werden neben dem hellen Centralgestirn des Mondes auch schwächere Fixsterne noch in großer Zahl sichtbar sein, sogar die Milchstraße. Die scheinbare Erdgröße schwankt natürlich für die Seleniten in demselben Verhältnisse wie für uns die scheinbare Mondgröße; vgl. Fig. 36, S. 102. Wie sich die verschiedenen Ungleichheiten der Mondbahn für die Seleniten als Ungleichheiten in der Schwankung des Erdenortes darstellen, also die Evektion, Variation, jährliche und parallaktische Gleichung, ferner die Wanderung der Apsiden und Knoten, das alles zu untersuchen hat zwar keine praktische Bedeutung, wird dem Leser aber Gelegenheit geben, die über diese Erscheinungen gewonnenen Kenntnisse zu vertiefen.

Es sei hier die Frage angeschlossen, welche Bahn der Mond im Raume oder vielmehr in Bezug auf die Sonne beschreibt. Um[3] zu einer richtigen Vorstellung davon zu gelangen, vergleichen wir die Ellipse, in welcher sich der Mond um die Erde bewegt, mit einem Rade und betrachten die Erde als den Mittelpunkt, den Mond als einen Peripheriepunkt desselben. Bewegt sich ein rotierendes Rad nicht von der Stelle, so beschreibt ein Punkt seiner Peripherie einfach einen Kreis um den Mittelpunkt. Die Erde, der Mittelpunkt des angenommenen Rades, bewegt sich aber in ihrer elliptischen Bahn um die Sonne fort, während sie vom Monde umkreist wird. Unter diesen Umständen ist die Form der Mondbahn abhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Erde als Radmittelpunkt fortbewegt. Ist die Geschwindigkeit, womit der Radmittelpunkt während der Umdrehung fortschreitet, geringer als die des Peripheriepunktes infolge der Rotation, so wird ein solcher Punkt eine Schlingenlinie (Fig. 124) beschreiben. Solcher Art sind die Bewegungen der Planeten in Bezug auf die Erde, also im ptolemäischen

[1] Mondbürger, von σελήνη, Mond, abgeleitet.

[2] Vgl. auch Fig. 91 S. 285 und die zugehörigen Erklärungen.

[3] Wir folgen hier zum Teil wörtlich den Ausführungen in dem mehrgenannten Jakobschen Buche, an dessen zweiter Auflage der Verfasser des vorliegenden Buches mitgewirkt hat.

System; denn die Geschwindigkeit im Epicykel ist größer als die im Deferenten. Ist aber die vom Radmittelpunkte während einer Umdrehung zurückgelegte Strecke ebensogroß wie die Peripherie des Rades, was z. B. bei den Rädern der Fuhrwerke der Fall ist, so beschreibt ein Peripheriepunkt eine Cykloide mit scharf aneinanderstoßenden Teilen. Oft kann man dabei gleichzeitig die Schlingenlinie beobachten; eine brennende Laterne nämlich, die unter dem Wagen hängt, wirft auf die Mauern an der Straße einen vergrößerten Schatten der Räder; der Schatten eines Radkranzes rotiert offenbar im Winkel ebenso schnell wie der Radkranz selbst, linear jedoch schneller, und so ergiebt sich, da der Schatten des Mittelpunktes mit der Geschwindigkeit des Wagens, d. h. mit der der Radkränze längs der Mauer geht, die Schlingenlinie. Man kann sie bei gehöriger Aufmerksamkeit gut wahrnehmen, wenn ein Punkt des Radkranzes durch ein Anhängsel gekennzeichnet ist.

Geht aber der Mittelpunkt schneller als die Peripherie, so beschreibt ein Punkt von dieser eine Schlangenlinie, deren Krümmung um so geringer

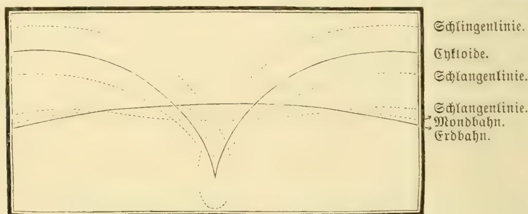


Fig. 124. Epicykloide des Mondlaufes.

ausfällt, je größer das Verhältnis der Geschwindigkeiten ist. Da nun die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn etwa 30mal so groß ist als die des Mondes in der seinigen [1], so muß die Bahn, welche der Mond in Bezug auf die Sonne beschreibt, eine um die Erdbahn schwankende Schlangenlinie sein. Die große Geschwindigkeit der Erde und der kleine Radius der Mondbahn bringen es sogar mit sich, daß die Schlangenlinie, welche der Mond beschreibt, in allen ihren Teilen der Sonne die hohle Seite zuwendet.

* * *

Die Refraktion, das Funkeln und die Sternfigur (vgl. S. 94—99) sind nicht die einzigen Wirkungen der Atmosphäre auf das Aussehen der Himmelskörper. Die kleinen Eisprismen, woraus die Cirruswolken [2] vornehmlich zu bestehen scheinen, rufen Brechungen und Reflexionen hervor, deren Wirkung sich in den Höfen um Sonne und Mond sowie in den Neben-

[1] Man bedenke, daß die Sonne etwa 400mal so weit ist als der Mond und daß auf das siderische Jahr ungefähr 13 siderische Monate kommen.

[2] Über die Wolken und ihre Einteilung vgl. Jakob a. a. O. S. 187 ff.

sonnen und Nebenmonden ausspricht; die Nebelbläschen der tiefern Wolken bewirken Beugungen des Lichtes, und ihre Wirkung sind die kleinern Kränze um Sonne und Mond. Etwas diesem ähnliches zeigt sich häufig an der Venus, vielleicht auch an Jupiter und Mars.

Obgleich die Ausdeutung dieser glänzenden Naturerscheinungen nicht der Himmelskunde, sondern der meteorologischen Optik zufällt, wollen wir sie an dieser Stelle doch erwähnen, hauptsächlich weil sie eifrige Beobachtung verdienen, die schon wegen der Lagenbeziehung auf die Sterne wenigstens bei den Mondhöfen am besten von den Liebhabern der Astronomie betrieben werden kann.

Ein großer Ring um die Sonne oder den Mond heißt Halo[1]; sein sphärischer Halbmesser beträgt meistens etwa 23°, doch kommt auch der doppelte vor. Haben die lichtbrechenden Eisnadeln, woraus namentlich die Wolkenform Cirrostratus besteht, alle möglichen Lagen ohne eine Beziehung zur Schwerkraft, so ist der Halo gleichmäßig stark entwickelt. Wenn jedoch die vertikale Richtung vorwiegt, wie das die Suspension der Eisnadeln im Luftmeere häufig mit sich bringen wird, so entstehen an den Punkten S_1, S_2 und S_3 (Fig. 125, wo S die Sonne ist) Lichtmaxima, die Nebensonnen oder Parhēlien[2]. Sonnenhöfe sind in Deutschland eine sehr häufige Erscheinung; daß sie vielen Leuten kaum bekannt sind, liegt nicht nur daran, daß der helle Glanz der Sonne die Durchforschung der benachbarten Luftgebiete nicht anzuraten scheint, sondern auch an der Achtlosigkeit, mit der man an den Erscheinungen der Natur überhaupt vorbeigeht.

Sind einzelne Cirruswolken vorhanden, ist überhaupt der Schleier von hohen Eiswolken nicht gleichmäßig am Himmel ausgebreitet, dann sind die Höfe nur einseitig ausgebildet, und unter Umständen ist nur die eine oder andere Nebensonne sichtbar. Als Beispiel für ein wohlentwickeltes Halophänomen in mittlerer Breite möge die in Fig. 125 dargestellte Erscheinung dienen, die der Verfasser im Jahre 1885 an einem hellen Oktobernachmittage beobachtet hat. Die unter dem Horizonte liegenden Stücke sind mitgezeichnet. Der innere, die Nebensonnen S_1, S_2, S_3 enthaltende Hof ist der gewöhnliche von 23° Radius; er ist, wie die Buchstaben angeben, außen veilchenfarbig, innen rot gefärbt. Bei Mondhöfen sind der Schwäche des Lichtes wegen die Farben schwer festzustellen. An die oberste Nebensonne S_2 schloß sich nach rechts und links je ein parabolisch gekrümmter weißer Bogen. Den Halo umgab der größere und seltenere von 47° Radius mit gleicher Färbung. An seinen höchsten Punkt P schloß sich ein berührender kleiner Kreis, der, soweit er zu verfolgen war, sehr klar und schön die Regenbogenfarben zeigte,

[1] Von *ἡ ἅλως*, der Hof, die Tenne; die Bezeichnung rührt von Aristoteles her. — Genaueres über die optische Theorie findet man im II. Bande von S. Günthers Geophysik.

[2] *Παρήλιος* von *παρά* und *ἥλιος*; ähnlich hat man *παρασελήνη* gebildet.

und zwar außen rot, innen violett. — Die Erscheinung bildete sich ganz allmählich heraus, zuerst trat der gewöhnliche Halo auf. Die Nebensonnen zeigen als bloße Helligkeitsmaxima des Halo dessen Farben; entstehen sie allein, indem zufällig rechts oder links von der Sonne in gleicher Höhe und 23° Abstand eine Cirruswolke schwimmt, dann wird die Erscheinung sehr überraschend, namentlich im Winter, wenn die bunte Nebensonne, durch trüben Nebel gesehen, blutrot erscheint. Häufig künden die Nebensonnen und Sonnenhöfe einen Witterungswechsel an, nämlich das Herannahen einer barometrischen Depression. Wer gewohnt ist, das Sonnenbild in ruhigen Wasserflächen zu suchen, wird viele Halo-Erscheinungen entdecken.

Als Beispiel für einen schön beobachteten Mondhalo geben wir Fig. 126; nebst der nachstehenden Beschreibung rührt sie von Herrn J. Rheden in

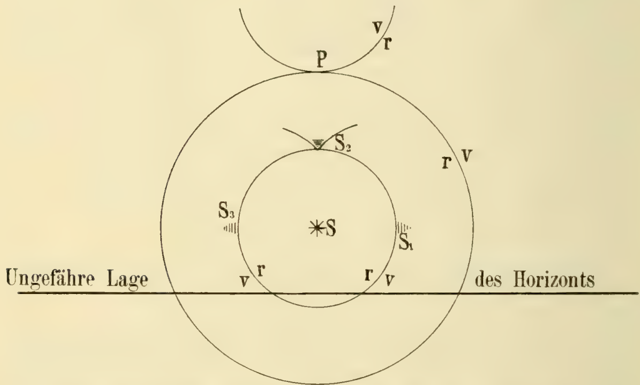
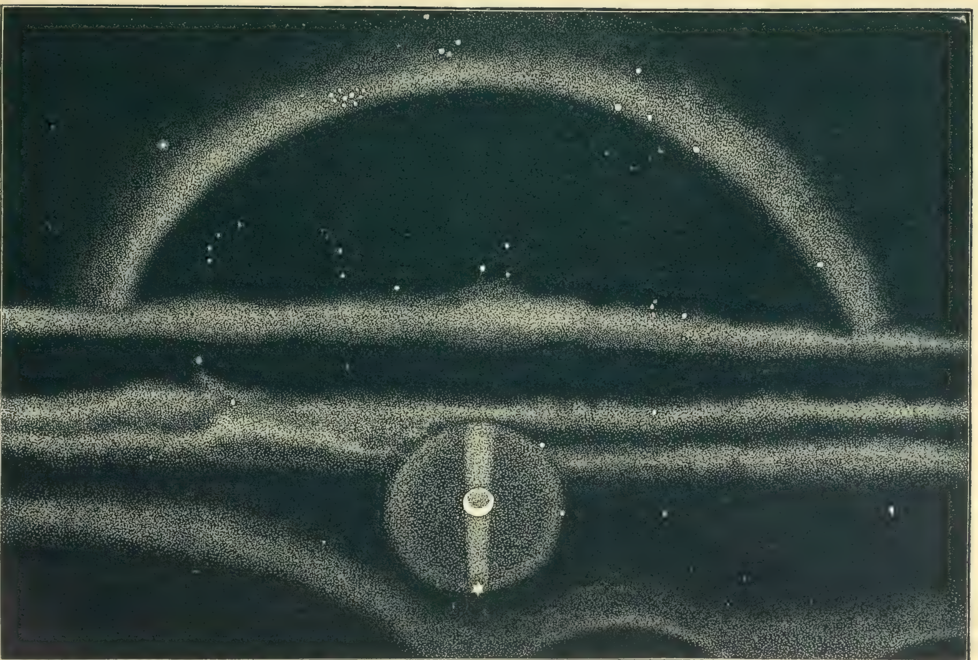


Fig. 125. Sonnenhöfe und Nebensonnen, beobachtet 1885, Okt. 2. zu Warendorf.

Wien her. „Halo 1897, März 7. $8^h\,45^m$ M. E. Z. Als ich heute Abend um $8^1/_2$ Uhr auf die Sternwarte ging, bemerkte ich, daß der Mond einen herrlichen Hof und einen zur Hälfte ausgebildeten Ring hatte. [Was hier nach einer verbreiteten Ausdrucksweise Hof genannt wird, ist nicht der Halo, sondern der kleine bunte Lichtschimmer in nächster Nähe des Mondes; der Halo wird Ring genannt.] Da sich bei dieser Erscheinung mehreres abnorm zeigte, skizzierte ich sie. Um $8^h\,45^m$ war sie am schönsten, dann nahm sie schnell ab. Der Mond hatte um 2^h mit Venus in Konjunktion gestanden; jetzt, $8^h\,45^m$, war um den Mond herum ein Hof vom Halbmesser ☾ ♀. Das auffallendste war hier ein senkrechter Streifen, der den Hof quer durchsetzte; er war in der Nähe des Mondes am hellsten und nahm gegen den Hofrand hin ab. Am obern Rande schloß sich horizontal ein dunkler Streifen (klarer



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 382 f.

Fig. 126. **Konstellation Mond-Venus mit Halo-Erscheinung.** Beobachtet 1897, März 7. zu Trient.

Himmel) an, auf den wiederum ein Dunst-Reifen folgte, auf dem der Mondringbogen wie ein Gewölbe zu ruhen schien. Dieser war zu oberst am breitesten und hellsten, zeigte aber keine deutlich ausgesprochene Färbung. An seinem obersten Ende griff er noch etwas in die Milchstraße hinein. An der innern Grenze des Ringes standen die Plejaden, ρ Persei, γ Andromedae und in der Fortsetzung β Andromedae. Mit Hilfe dieser Sterne bestimmte ich den Ringhalbmesser zu $23^1/_2{}^0$. — Die Erscheinung nahm so rasch ab, daß um 9^h schon wenig mehr davon zu sehen war. Vier Stunden früher ($4^h\ 45^m$) hatte ich auch einen schwachen Sonnenring gesehen, dessen innerer Rand schwach rötlich war."

Die Kränze um Sonne und Mond, in Fig. 126 z. B. der bis zur Venus reichende, von einem vertikalen Streifen durchsetzte Schimmer, entstehen durch Lichtbeugung an Nebelbläschen. Man kann häufig, z. B. wenn eine Kerze in feuchter Luft, etwa in einer Kirche brennt, ähnliche bunte Ringe wahrnehmen. Sehr prächtig habe ich sie im Eisenbahnzuge gesehen, wenn die grellen Bogenlichter eines Bahnhofes durch die beschlagene Scheibe hindurch schienen.

Auch die Regenbogen gehören hierher; sie sollen jedoch, da sie in den Lehrbüchern der Physik ihre Stelle finden, hier übergangen werden. Es sei nur erwähnt, daß Mondregenbogen allerdings vorkommen; die meisten Zeitungsnachrichten über solche dürften sich aber auf unrichtig gedeutete Halobildungen beziehen.

Sechsundzwanzigstes Kapitel.

Mars und seine Monde.

Nächst der Erde und dem Monde ist Mars der am besten bekannte Himmelskörper. Obschon er uns nicht so nahe treten kann wie Venus, kommt seinen Beobachtern doch die Thatsache zu statten, daß er alle zwei Jahre (genauer $2^a + 49^d$) in Sonnenopposition gelangt. Vor der Venus, die bekanntlich nie diese Stellung erreicht, scheint er neben der immer wenigstens nahezu vollen Lichtgestalt auch noch durch eine reinere Atmosphäre begünstigt zu sein.

Bereits im 17. Kapitel haben wir den stark excentrischen wahren Lauf des Mars und seinen noch verwickelteren scheinbaren Lauf kennen gelernt; auch erfuhren wir, daß seine Rotationsachse zu einer festen, nach dem südlichen Teile des Cepheus weisenden Richtung parallel ist. Es ergab sich, daß der Anblick für den irdischen Beobachter starkem Wechsel unterliegt; Fig. 74 und 75 (S. 206 f.) giebt ihn für die Oppositionen und Quadraturen wieder, die zwischen den beiden sehr günstigen Oppositionen von 1877 und 1892 gelegen haben. Da die Länge des Marsperihels 334^0 beträgt und die

Sonnenopposition der Augenblick ist, wo ♁ und ♂ dieselben heliocentrischen Längen haben, so sind die günstigsten Oppositionen die dem 27. August, wo die Länge der Erde 334° beträgt, nächstliegenden; die ungünstigsten sind die um den 22. Februar stattfindenden, welche der Länge des Marsaphels, also 154°, entsprechen. In allen andern Stellungen, z. B. den Quadraturen und noch mehr den Oppositionen, ist Mars natürlich kleiner als in den Oppositionen. Die bestgelegene Opposition im 19. Jahrhundert, die von 1877, hat zur Entdeckung der Monde geführt. — Die nächste Opposition tritt 1899, Januar 18. 13^h M. E. Z. ein.

Über die Größe und Gestalt des Mars hat man zahlreiche Messungen angestellt. Schur in Göttingen verdankt man[1] eine der neuesten und besten Bestimmungen. Hiernach ist ♂ ein abgeplattetes Sphäroid; die große Achse 2a ist in der mittlern Entfernung[2] ⊙ ♂ gleich 6″,256, die kleine Achse oder Rotationsachse 2b = 6″,120. Stände ♂ da, wo die ♁ steht, so würde von der ⊙ aus die Äquatorachse 9″,53, die Polarachse 9″,32 groß erscheinen. Die Abplattung $\frac{a-b}{a}$ ist gleich $\frac{1}{46}$, also wesentlich größer als bei der Erde. Das muß überraschen, da der Planet kleiner als die Erde ist und dennoch eine etwas längere Rotationszeit hat, nämlich[3], in mittlerer Sonnenzeit ausgedrückt, $24^h\ 37^m\ 22^s{,}65$, während die Erde in $23^h\ 56^m\ 4^s{,}09$ rotiert.

Die Erde erscheint von der Sonne aus unter einem Äquatordurchmesser von[4] 17″,6; der Durchmesser des Mars ist also kleiner im Verhältnisse $\frac{9{,}53}{17{,}6} = 0{,}541$, die Rotationsachse noch besonders im Verhältnisse $\frac{9{,}32}{17{,}6} = 0{,}530$. Für das Verhältnis der Oberflächen erhält man etwa $0{,}54^2 = 0{,}29$, für das der Volumina $0{,}541^2 \cdot 0{,}530 = 0{,}15$. Fig. 117 (S. 359) stellt die relativen Größen von ♁, ♂, ☿ und ☾ der Reihe nach dar.

Da die gut bekannte Masse des Planeten[5] nur etwa den 9. Teil der Erdmasse ausmacht, so ist seine Dichte etwas kleiner als die des Erdkörpers, vielleicht = 4,0 von der des Wassers, etwa der des Cölestins oder Granates entsprechend. Die Beschleunigung durch die Schwere beträgt etwa 3,7 m in der Sekunde, nämlich 0,38 von der irdischen.

*　*　*

Dem freien Auge erscheint Mars als ein auffallend roter Stern, dessen Helligkeit in den Oppositionen die der meisten Fixsterne erster Größe über-

[1] Vgl. Astron. Nachr. 3405. — Dagegen findet H. Struve theoretisch eine Abplattung von 1 : 190; dieser Zahl kommen Lowells Messungen nahe.

[2] Das ist offenbar auch die mittlere Entfernung ♁ ♂.

[3] Die Zahl beruht auf den Beobachtungen aus mehr als zwei Jahrhunderten, also weit über 60 000 Marstagen; sie kann höchstens um einige Hundertstel der Sekunde falsch sein.

[4] Die doppelte Sonnenparallaxe.

[5] Vgl. S. 265.

trifft. In günstigen Perihel-Oppositionen, wie 1877, ist er sogar schon heller als Jupiter gewesen, der sonst nach Venus das hellste Gestirn ist. Mit dem Kolorimeter hat Zöllner festgestellt, daß eine gewöhnliche Kerzenflamme röter ist als der Mars; das Fernrohr überzeugt uns, daß nur gewisse Oberflächenteile des Planeten rot oder vielmehr rötlichgelb sind; andere erscheinen grünblau, noch andere weiß. Die Spektralanalyse zeigt uns, daß wir es mit zurückgeworfenem Sonnenlichte zu thun haben.

Die Erklärung der verschiedenfarbigen, teils konstanten und teils wechselnden Gebilde auf dem Mars hängt so enge mit unsern Ansichten über die mehr oder weniger große Erdenähnlichkeit des Himmelskörpers zusammen, daß es nützlich erscheint, die beiden Fragen auf einmal zu beantworten.

Wie sehr unsere Erde auf die ihr zufließende Sonnenwärme angewiesen ist, und wie wenig die großen Vorräte von innerer Eigenwärme heutzutage für das pflanzliche und tierische Leben in Betracht kommen, das sehen wir an unsern Polarzonen mit ihrer Todesstarre. In einer frühern Zeit, als die Erdkruste noch recht warm war, muß das anders gewesen sein: feuchtheiße Luft stieg überall auf und verdichtete sich zu schweren Wolken; die Sonne nützte der pflanzlichen Ernährung nur durch ihr Licht, das schwach und neblig durch die Decke schimmerte, kaum durch die sehr geringe Wärmezufuhr, welche den Weg bis zur Erdoberfläche fand. In allen Zonen erwuchsen prächtige Kryptogamen-Wälder in der warmen, mit Wasserdampf und Kohlensäure übersättigten Luft. Ihre Reste sind uns in den Steinkohlengebirgen erhalten, und wir finden solche noch in sehr hohen Breiten, weil der Sommer, d. h. die helle Jahreszeit, auch am Nordpol aus verschiedenen Gründen (vgl. S. 93) sich merklich länger als ein halbes Jahr hinzog.

Später, mit dem Kälterwerden der Kruste, zerriß allmählich der Wolkenmantel; die klimatischen Unterschiede bildeten sich aus. Es mag die Zeit gewesen sein, welche die ehrwürdigste Urkunde des Menschengeschlechtes als vierten Schöpfungstag bezeichnet: Sonne, Mond und Sterne traten als Zeitenmesser hervor, obgleich das Licht selbst, nämlich das zerstreute Tageslicht, schon am ersten Tage für die Erde geschaffen ist, d. h. als wahrnehmbarer Schimmer den Nebel durchsetzt hat.

Die Erwärmung der Erdoberfläche hängt bekanntlich von dem Winkel ab, unter dem die Sonnenstrahlen auffallen, außerdem von der Länge der Bestrahlung. Für jede geographische Breite (Polhöhe) und für jede Sonnendeklination können wir die tägliche Wärmezufuhr berechnen. Ohne den Gang der Rechnung, der Kenntnis der höhern Mathematik voraussetzt, hier andeuten zu wollen, geben wir nachstehend[1] einige Relativzahlen:

[1] Der Verfasser folgt hier, teilweise wörtlich, seinem eigenen Aufsatze im VIII. Jahrgang (1893) der Naturwissenschaftlichen Rundschau S. 155—156.

φ^0	$\delta = 0^0$	$\delta = 9^0$	$\delta = 16^0$	$\delta = 23^0\,28'$	$\delta = 24^0\,52'$
90	0000	1564	2756	3982	4205
80	0553	1557	2715	3922	4141
70	1089	1914	2688	3742	3952
60	1592	2309	2916	3621	3764
50	2046	2656	3139	3659	3758
40	2438	2933	3298	3667	3733
30	2757	3125	3375	3604	3643
20	2991	3227	3362	3459	3472
10	3135	3233	3256	3230	3219
0	3183	3144	3060	2920	2888.

Diese Zahlen bedeuten z. B., daß sich die Wärmemengen, welche die Sonne in 9⁰ Deklination zwei Orten in den Breiten 70⁰ und 60⁰ zuführt, wie 1914 : 2309 verhalten. Die höchste Sonnendeklination für die Erde ist gleich der Schiefe der Ekliptik, also gleich 23⁰ 28′; man kann natürlich auch für Mars die Schiefe, d. h. die Neigung seiner Drehungsachse gegen die Senkrechte auf seiner Bahnebene berechnen, und man findet dafür 24⁰ 52′, eine Schiefe, die der irdischen so ähnlich ist, daß die Versuchung naheliegt, den Verlauf der irdischen Jahreszeiten einfach auf den Mars zu übertragen und nur mit Rücksicht auf die größere Jahreslänge den Gang der Ereignisse etwas verlangsamt zu denken. Indessen ist dabei doch mancher Nebenumstand zu bedenken. Die angeführten Größen können als Relativzahlen für jeden beliebigen Planeten gelten; will man sie jedoch für ♂ und ♁ vergleichen, dann muß man sie vorher mit dem Quadrate des Verhältnisses der Sonnenentfernungen[1], d. h. etwa mit $^3/_7$ multiplizieren, wenn man von der Excentricität vorerst absieht; die Rotationszeiten sind bekanntlich nahezu gleich.

Je größer δ wird, desto schärfer, so lehren die angeführten Zahlen, spricht sich das Bestrahlungsmaximum in den Polargegenden aus. Am 21. Juni empfängt der Nordpol 3982 : 2920 von der dem Äquator zugeführten Wärmemenge. Obgleich nämlich hier die Sonne viel höher kommt, kann sie doch weniger Wärme bringen, weil sie nur 12^h über dem Horizonte ist, davon nicht ganz 8^h in Höhen über $23^1/_2{}^0$, während sie am Pol volle 24^h in dieser Höhe verweilt (vgl. S. 85). Dazu bedenke man, daß die Tage hier sofort aufeinander folgen, ohne durch Nächte unterbrochen zu werden. Wenn trotzdem die Eis- und Schneemassen in den kalten Erdgürteln nur wenig unter dem Einflusse der Sonnenstrahlung zurückgehen, so ist

[1] In diesem Verhältnisse nimmt ja die Bestrahlungsstärke ab. — Betreffs der angegebenen Schiefe von 24⁰ 52′ sei noch bemerkt, daß H. Struve neuerdings 25⁰ 13′ gefunden hat.

der Grund bekanntlich in der starken Absorption zu suchen, die die Sonnenstrahlen in den untern Schichten der Atmosphäre erleiden, außerdem in den beständigen Strömungen. Auf dem Mars scheint nun die Absorption geringer zu sein; denn sonst könnten seine Oberflächengebilde nicht so klar vor uns liegen, wie man thatsächlich beobachtet. Die Verminderung, welche die Relativzahlen an den Polen erleiden, ist also hier viel unbedeutender, Grund genug für eine starke Erwärmung der Polargegenden im Frühjahr und Sommer. Für geringe Sonnenhöhen wird vielleicht sogar der von dem größern Sonnenabstande herrührende Faktor 3 : 7 überkompensiert werden, d. h. in Höhen von einigen Graden mag die Sonne auf dem Mars noch kräftiger strahlen als auf der Erde. Es kommt hinzu, daß die sehr warme Sommerszeit auf dem Mars viel länger dauert als bei uns, und zwar wegen der größern Gesamtjahreslänge; ferner daß die großen Deklinationen sehr schnell erreicht werden (vgl. die Tafel der Sonnenörter S. 71) und lange anhalten; weit über die Hälfte des Sommerhalbjahres hat Deklinationen über 16°, wobei nach der Tabelle die den Polargegenden zugeführte Wärmemenge schon sehr gut mit der in niedrigen Breiten anlangenden vergleichbar wird, wenn nur die Absorption klein bleibt.

Werden schon diese Deklinationen etwas eher (d. h. bei geringerer Sonnenlänge) erreicht als auf der Erde, so kommt ferner in Betracht, daß wochenlang die Sonne auf dem Mars in Deklinationen verweilt, die sie bei uns überhaupt nicht erreichen kann. Wenn man so häufig die nahe Übereinstimmung der Ekliptikalschiefen von ♂ und ♁ als Ursache einer ähnlichen Verteilung der Klimate und Jahreszeiten hinstellt, dann sollte man diesen bedeutenden Unterschied nicht außer acht lassen, der eben dadurch, daß die höchsten Deklinationen sehr schnell erreicht werden und lange anhalten, so gesteigert wird. Vielleicht können sogar die Schwankungen, denen (vgl. S. 249—250) die Neigung des Erdäquators gegen die Erdbahn unterliegt, jene Verteilung auch bei uns bedeutend ändern; je größer die Deklinationen überhaupt werden, desto mehr werden im Sommer die Polargegenden begünstigt, und desto geringer wird dort im Hochsommer die Absorption in der Atmosphäre.

Wir kommen zu dem Schlusse: Ist auf dem Mars Luft und Wasser zu finden, dann werden in den Polargegenden sehr scharfe Gegensätze zwischen Sommer und Winter obwalten, obschon der Planet viel weniger Sonnenwärme empfängt als die Erde.

* * *

Wenn die Erdbahn genau kreisförmig wäre, so würden die vier Jahreszeiten gleich lang sein. Nun liegt aber das Bahnperihel in 100° heliocentrischer Länge und die Sommersonnenwende der Südhalbkugel in 90°

Länge: 10^d vor Neujahr, d. h. vor dem Periheldurchgange der Erde, hat die Südhalbkugel den längsten Tag. Um diese Zeit geht die Erde am schnellsten, und daraus folgt, daß für die südliche Halbkugel die gute Jahreszeit etwas schneller verläuft als die schlechte. Der Unterschied ist nicht sehr groß, da die Excentricität der Bahn nur $^1/_{60}$ beträgt. Auf dem Mars, wo die Excentricität 0,093 oder 1 : 10,7 beträgt, kommen größere Unterschiede zu stande. Merkwürdigerweise liegt auch hier das Sommersolstiz der Südhalbkugel dem Perihel ziemlich nahe, da sich jenes in 357°, dieses in 334° heliocentrischer Länge befindet. So wird namentlich der Frühling der Südhalbkugel sehr kurz. Nachstehende Übersicht giebt die Längen der Jahreszeiten für beide Planeten in mittlern Sonnentagen der Erde[1].

			♁	♂
Südfrühling	oder	Nordherbst	$89^d,7$	$145^d,6$
Südsommer	„	Nordwinter	89,1	160,1
Südherbst	„	Nordfrühling	92,9	199,6
Südwinter	„	Nordsommer	93,6	181,7
Tropisches Jahr			365,3	687,0.

Auf dem Mars fallen die Unterschiede, wie man sieht, so groß aus, daß sie im Klima der beiden Hemisphären gewisse Unterschiede herbeiführen müssen. Allerdings läßt sich zeigen, daß die beiden Halbkugeln im ganzen gleichviel Wärmemengen zugeführt erhalten; es wird die größere Länge des Nordsommers genau durch den größern Sonnenabstand ausgeglichen. Aber die Wärmemenge ist in verschiedener Art über das Jahr verteilt. Die südliche Halbkugel hat einen kurzen, heißen Perihel-Sommer und einen langen, strengen Aphel-Winter; die nördliche hat einen langen, kühlen Aphel-Sommer und einen kurzen, milden Perihel-Winter. Hier ist die gute Jahreszeit einfach als Sommer, die schlechte als Winter bezeichnet. Die Unterschiede zwischen Perihel und Aphel sind sehr groß. In jenem ist der Sonnenabstand $a(1-\mathfrak{e})$, in diesem $a(1+\mathfrak{e})$, wenn a und $\mathfrak{e}$ die große Bahnhalbachse und die Excentricität vorstellen. Die Bestrahlungen durch die Sonne verhalten sich reciprok den Quadraten dieser Größen, also wie $(1+\mathfrak{e})^2 : (1-\mathfrak{e})^2 = 1{,}09336^2 : 0{,}90664^2 = 1{,}45$. Bei der Erde erhält man nur

$$\left(1+\frac{1}{60}\right)^2 : \left(1-\frac{1}{60}\right)^2, \text{ etwa } = 1+\frac{1}{15}.$$

Da nun auf einer und derselben Halbkugel des Mars die Polargegend den schroffsten Jahreszeitenwechsel erfährt, andererseits aber auf der südlichen Halbkugel größere Unterschiede zu finden sind als auf der nördlichen, so ist zu vermuten, daß namentlich die südliche Polarzone gewaltige Extreme

[1] Zufällig ergiebt die Abrundung bei der Erde als Summe der Jahreszeiten $365^d,3$, während die direkte Abrundung 365,2 ergiebt.

durchzumachen hat. Es ist die Frage, inwieweit die Beobachtungen diese Annahme bestätigen, die bis jetzt, wenn man von der Absorption in der Luft absieht, auf rein geometrischen Betrachtungen ruht.

* * *

Im Jahre 1783 entdeckte Wilhelm Herschel die periodische Vergrößerung und Verkleinerung der weißen Polarkappen des Mars. Die Zeichnungen Fig. 74 u. 75 (S. 206 f.) lassen zwei weiße Fleckchen erkennen, die so ziemlich mit den Rotationspolen zusammenfallen. Da das Sommersolstiz der südlichen Halbkugel dem Perihel nahe liegt, so ist beim Periheldurchgange das südliche, im Fernrohr das obere, Ende der Achse und damit der südliche Polarfleck zur Sonne, in der Opposition also auch zur Erde gewandt; woraus folgt, daß in den günstigen Perihel-Oppositionen (z. B. 1877, 1892) für uns die südliche Polarkappe sichtbar ist, in den ungünstigen Apheloppositionen (wie 1886) die nördliche. Zeitweilig sind beide Kappen halb sichtbar, und es kann die abgewandte groß genug sein, um von uns wenigstens teilweise gesehen zu werden, während uns die andere vollständig zugewandt ist.

Herschel fand nun, daß 3 bis 4 Monate nach dem Wintersolstiz einer Halbkugel der ihr angehörende Polarfleck am größten ist; er kann dann etwa bis zum Polarkreise reichen. Mit der Frühlingsnachtgleiche beginnt der Fleck rasch zurückzugehen, und im Sommer ist er am kleinsten; ja der Südfleck ist schon mehrmals völlig verschwunden. Er steht etwas excentrisch, und zwar, wie neuere Beobachtungen zweifellos festgestellt haben, an einer geographisch oder vielmehr areographisch[1] durchaus fest bestimmten Stelle. Der Nordfleck, der geringere Änderungen durchmacht, ist genauer centriert. Die Änderungen der beiden Flecken verlaufen in umgekehrtem Sinne. Erinnert man sich unserer geometrischen Betrachtungen, so wird man den Schluß durchaus gerechtfertigt finden, daß die weiße Färbung der Polarzonen des Mars in ihrem regelmäßigen Wechsel auf eine nach den Jahreszeiten wachsende und abnehmende Vereisung oder Schneebedeckung hinweist. Es ist die offenkundige Beziehung zu den Jahreszeiten, die darauf hinweist, und diese Jahreszeiten lassen sich, wie mehrfach erörtert, streng vorausberechnen auf Grund der genau bekannten Elemente der Drehung und des Umlaufes. Und auch die verschiedene Größe der Änderungen an den beiden Polen ließ sich voraussehen. Daß die Änderungen in einem Umfange vor sich gehen, der uns auf der viel stärker bestrahlten Erde nicht vorkommt, das läßt sich auf die größere Klarheit der Marsluft und zu einem guten Teil auch auf die größere Schiefe und Jahreslänge zurückführen. Man hat es darum, wie wir glauben, nicht gerade nötig, für den Wasserschnee der Erdoberfläche

[1] Von Ἄρης, Mars.

auf dem Mars einen Kohlensäureschnee, ein Gemenge aus fester und luftförmiger Kohlensäure anzunehmen, wie man es z. B. beim Verdunstenlassen von flüssiger Kohlensäure erhält. Wie gesagt, notwendig ist diese Annahme nicht; allerdings läßt sie sich auch nicht streng widerlegen.

Die weitern Untersuchungen knüpfen wir am besten an die Betrachtung unserer Fig. 127. Sie stellt den Mars dar, wie er an zwei Dezemberabenden des Jahres 1896 von J. Rheden am fünfzölligen Äquatorial der Privatsternwarte des Herrn Dr. Pietro Libera in Trient gezeichnet worden ist. Mars hatte 1896, Juli 18. das Sommersolstiz der südlichen, also das Wintersolstiz der nördlichen Halbkugel gehabt und kurz vorher, Juni 12., das Perihel; die Opposition stand bevor für Dezember 10. 19^h M. Z. Berlin, in 80^0 heliocentrischer Länge. Demzufolge war die südliche Schneezone der Erde zugewandt; sie war aber durch die Sommerhitze aufgezehrt worden. Dagegen sieht man von der nördlichen Zone, die gerade damals, wenige Monate nach dem Wintersolstiz, am größten war, noch ein ziemlich bedeutendes Stück unten im Bilde, obgleich der Nordpol selbst abgewandt war. Man bemerkt ferner, daß die untere, nördliche Halbkugel hauptsächlich von dem sogen. Festlande, die obere, südliche, von den sogen. Meeren eingenommen wird. Daß die hellen Stellen überhaupt als Festländer, die dunkeln als Gewässer bezeichnet werden, ist zunächst ein Sprachgebrauch, den man als solchen gelten lassen darf. Werden ja auch die großen Mondebenen Meere genannt. Ob die Namen sachliche Bedeutung haben, ist eine zweite Frage; wer sie bejaht, kann sich immerhin darauf stützen, daß die Meere unserer Erde mehr Licht verschlucken als die Festländer und demzufolge dunkler erscheinen müssen; vergl. Fig. 91 (S. 285) und Fig. 123 (S. 379). Über die Nordhalbkugel sieht man hauptsächlich schwarze Linien, die sogen. Kanäle, einherziehen. Schiaparelli, einer der besten Kenner des Mars, hat die einzelnen konstanten Gebilde mit Namen aus der alten, besonders der biblischen und mythologischen Geographie versehen; das große schwarze Gebilde, das hier etwas seitlich vom Centralmeridian steht, nennt er im obern Teile Syrtis maior, in dem schmalen nördlichen Ausläufer Nilosyrtis; es sei beiläufig bemerkt, daß dieses das erste auf den Zeichnungen der ältesten Beobachter im 17. Jahrhundert wiederzuerkennende Gebilde ist. Flammarion, gleichfalls ein verdienter Marsforscher, nennt es nicht unpassend das Sanduhrmeer (la mer du sablier), und er hat es der Übersichtlichkeit wegen auf den Bildern Fig. 74 und 75 (S. 206 f.), die wir seinem Werke[1] entlehnen, überall in den Centralmeridian gerückt. Auf unsern Bildern erscheint es wegen der seitlichen Stellung bereits mehr oder

[1] La planète Mars et ses conditions d'habitabilité. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892.

Dez. 2. 12h 50m M. E. Z.



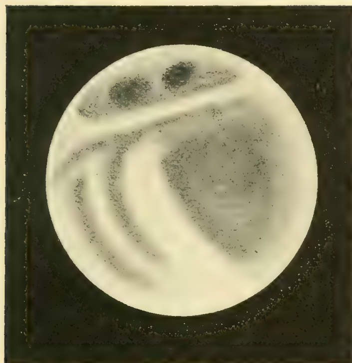
Dez. 8. 10h 50m.



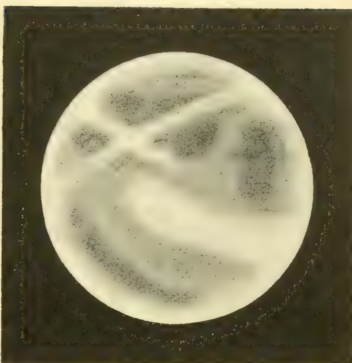
Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 391.

Fig. 127. **Mars nach Beobachtungen im Jahre 1896.**

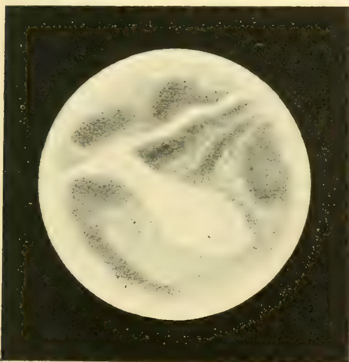
a) 1894, Okt. 12. 9h 30m.



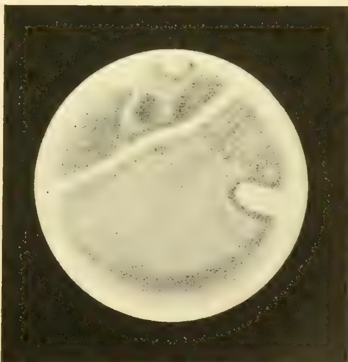
b) 1894, Okt. 16. 10h 15m.



c) 1894, Okt. 17. 9h 45m.



d) 1894, Okt. 23. 9h 35m.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 392.

Fig. 128. **Mars, beobachtet zu Brixen.**

weniger ausgebogen. — Die Rotation verläuft in demselben Sinne wie die der Erde; im umkehrenden Fernrohr verschieben sich deshalb alle sichtbaren Gebilde nach links. Einige weitere Namen lernen wir durch die Beschreibung kennen, die Herr Rheden seinen Bildern beigefügt hat:

„1896, Dez. 2. $12^h\ 50^m$ M. E. Z. Bild sehr gut; die große Syrte ist bereits über den Centralmeridian hinweggezogen. Von Osten[1] her taucht ein neues helles Streifchen auf, das mit der Deukalionsinsel identisch zu sein scheint. Das Streifchen, das sich in der Richtung Nordwest-Südost über den östlichen Teil des Kontinentes hinzieht, ist sehr dunkel und scheint fast mit einem Kanale (Phison[2]) zusammenzufallen. Wo dieser an den Südrand des Kontinents trifft, zweigt nach Osten hin ein weiterer Kanal ab, dessen Wahrnehmung ich aber nicht so sicher bin wie der des frühern. Die Färbung der Oberfläche des Planeten ist ungefähr folgende: Meere grau, Kontinente schwach ockergelb, ein schmales Streifchen in der Nähe der großen Syrte rötlich, der Rand der Scheibe weiß[3] und das Polarfleckchen glänzend weiß."

Ehe wir die Beschreibung des zweiten Bildes wiedergeben, das am 8. Dezember gezeichnet wurde, bemerken wir, daß an diesem Tage die Marsoberfläche etwas später als am 2. Dezember den geschilderten Anblick bieten mußte. Denn es ist $6 \times 24^h\ 37^m\ 22^s{,}65 = 6^d\ 3^h\ 44^m\ 15^s{,}9$ und $12^h\ 50^m + 3^h\ 44^m = 16^h\ 34^m$; erst zu dieser Zeit konnte die Nilosyrtis wieder die alte Stellung haben. Nun findet sich bei der Zeichnung folgende Notiz:

„1896, Dezember 8. $10^h\ 50^m$. Der Luftzustand ist sehr gut. Im Osten scheint die große Syrte aufzutauchen." (Da sie um $16^1/_2{}^h$ der Mitte nahe ist und die Rotation $24^1/_2{}^h$ dauert, muß sie um $10^h\ 50^m$ um etwas weniger als $^1/_4$ Rotation zurück sein, d. h. in der That am nachfolgenden Tage auftauchen.) „Ich sehe einen Kanal von ganz bedeutender Ausdehnung in der Richtung Süd-Nord, etwas nach Osten abweichend, über den Nordcontinent hinziehen. Bald nach seinem Beginne in einer Bucht wird er von einem Streifchen geschnitten, das sich in der Richtung West-Ost hinzieht. Das isolierte helle Fleckchen auf der Südhalbkugel hat den Centralmeridian überschritten; östlich davon macht sich ein System von Streifen bemerkbar, die zusammen ein Kreuz bilden." — Das helle weiße Gebiet auf der Südhalbkugel beider Bilder, das nicht mit dem noch weiter oben liegenden, zur Zeit jedoch unsichtbaren Polarflecken verwechselt werden darf, nennt Schiaparelli Hellas; rechts darunter auf dem zweiten Bilde ist Deucalionis et Pyrrhae regio[4] als großer weißer Fleck sichtbar.

---

[1] Im Sinne des Beobachters; areographisch ist es der Westen.

[2] Dieser stößt rechts unter schiefem Winkel auf die Nilosyrtis.

[3] Infolge der Absorption in der Marsluft, die sich natürlich hier am stärksten geltend macht, ist der Rand verschwommen.

[4] Nach der antiken Sage, wie sie z. B. Ovid erzählt, wurden Deukalion und Pyrrha aus der großen Flut gerettet.

Die Teile unserer Fig. 128 hat derselbe Beobachter bei 120facher Vergrößerung an einem $2^1/_2$zölligen Refraktor [1] gezeichnet; sie können uns lehren, wie sehr die Sichtbarkeit feinerer Oberflächengebilde von den optischen Mitteln abhängt. Trotz der geringern Bestimmtheit erkennt man doch in Fig. 128, d den weiß umrandeten schwarzen Fleck, den Schiaparelli als Solis lacus der Zählung der areographischen Längen zu Grunde legt. Er ist auch in Fig. 117 (S. 359) angedeutet, wodurch man sich ein Urteil über seine Größe bilden kann, weil die Erde daneben gezeichnet ist. Nach Schiaparellis Beobachtungen gehen von Opposition zu Opposition in der Gestalt dieses Sees und seiner Umrandung sehr tief greifende Änderungen vor.

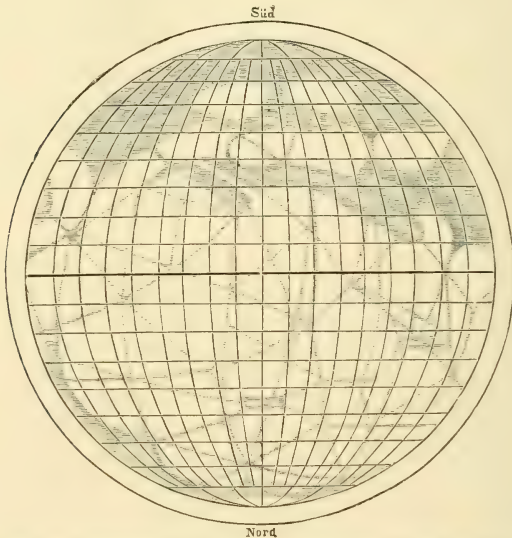


Fig. 129. Gesamtansicht der unverdoppelten Marskanäle auf einer Halbkugel.

Mit der Steigerung der optischen Hilfsmittel, der Güte der Augen und der Luft nimmt die Anzahl der sichtbaren Kanäle zu. Trägt man alle überhaupt beobachteten in eine Karte ein, natürlich mit Rücksicht auf die jeweilige Lage des Centralmeridians, dann erhält man ein Bild etwa wie Fig. 129. Gleichzeitig sind so viele Kanäle nicht sichtbar, das Bild ist also ein Ergebnis der Abstraktion, nicht der Beobachtung selbst. Man bemerkt links in 20 bis 30° südl. Breite die eine Hälfte des Sonnensees; die große Kanal-

[1] Über Fernrohre und Vergrößerungen vgl. Kap. 38.

kreuzung rechts unter der Mitte ist das Trivium Charontis[1], noch weiter unten rechts ist der Hephaestus, unten links die Propontis, oben nahe beim Sonnensee der Lacus Phoenicis, und so sind noch zahlreiche Kreuzungen (Anastomosen) zu finden. Die große Syrte ist auf der andern Halbkugel.

Wie ein Vergleich des Gradnetzes der Fig. 74 und 75 (S. 206 f.) und 129 lehrt, ist die letztere nicht in der Projektion gezeichnet, in der uns der Planet wirklich erscheint, sondern in einer andern, die den Vorteil bietet, daß die Ausdehnung in areographischer Länge am Rande nicht zu sehr verkürzt wird. Es machen auf der Erde 10 Äquatorgrade 1113 km aus, auf dem Mars also 0,538 × 1113 km oder knapp 600 km. Hiernach kann man mit Hilfe

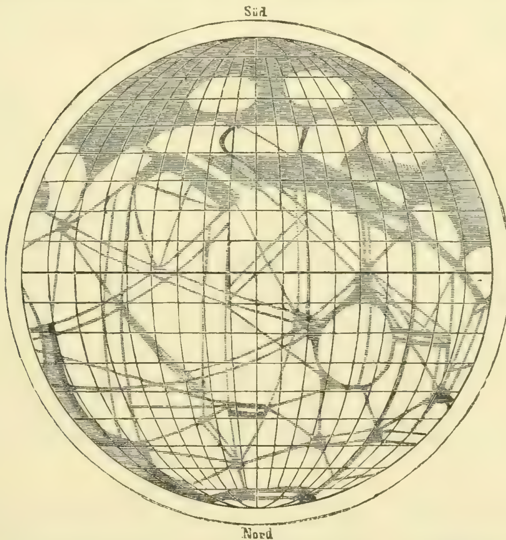


Fig. 130. Gesamtansicht der verdoppelten Marskanäle auf einer Halbkugel.

des Gradnetzes der Fig. 129 die Länge der einzelnen Kanäle annähernd bestimmen; es ist erstaunlich zu sehen, daß diese oft sehr dünnen Gebilde Tausende von Kilometern weit in gerader Linie, d. h. im Bogen des Hauptkreises fortziehen. Unser Erstaunen wächst aber, wenn wir sehen, welche Änderungen die Natur an diesen Gebilden vornimmt. Zur Zeit der Nachtgleichen des Mars zeigen sich, wie zuerst Schiaparelli bemerkt hat, die Kanäle einer nach dem andern verdoppelt. Unsere Fig. 130, wieder eine Zusammen-

[1] Charons Scheideweg.

fassung dessen, was thatsächlich nur nach und nach gesehen wird, kann davon eine Vorstellung bieten. Fast alle größern Kanäle erscheinen verdoppelt oder erbreitert, und es kann dadurch ein Festland, z. B. das Elysium gleich rechts vom Trivium Charontis, eine viel schärfere Umrandung bekommen. Man sieht ferner, daß die beiden neuen Kanäle bis zu 400 km auseinander liegen können; unter Umständen liegen sie aber sehr nahe zusammen, bis zu 50 km Abstand; bei noch geringerem Abstande dürften sie kaum mehr mit dem Fernrohr trennbar sein. Zuweilen ist der eine Kanal an dem alten Platze und der andere parallel dazu an einem neuen; häufiger sind sie aber beide nach rechts und nach links, gegen den Ort des unverdoppelten Kanales verschoben. Man hat die Verdoppelung mehr oder weniger scharfsinnig als rein optischen Vorgang erklären wollen, ohne damit Glück zu haben[1].

* * *

Damit kommen wir zu der Frage, was die sogen. Meere, Kanäle und Festländer des Mars denn eigentlich sind. Man hat die Meere für wirkliche Gewässer erklärt, zwischen denen die Kanäle Verbindungsstraßen darstellen sollen. Einiges spricht dafür. Ein Blick auf Fig. 129 zeigt, daß die Festländer weit überwiegen; wir begegnen also hier einem andern Verhältnisse als auf der Erdkugel, aber wir können auch einen Grund dafür angeben. Die Aufsaugung der Wasser vom Festlande, die auf unserer Erde noch kaum begonnen hat, auf dem Monde dagegen nahezu vollendet ist, wird auf dem Mars, der mittlern Größe gemäß, viel weiter als bei uns, aber nicht so weit wie auf dem Monde vorgeschritten sein. Denn je kleiner ein Himmelskörper ist, desto größer ist verhältnismäßig seine Oberfläche; sie kann also die Wasser energischer aufsaugen. Vielleicht hängt diese Aufsaugung und die sogen. Hydratisierung der Gesteine, z. B. die Verwandlung von Feldspat

[1] Einen von diesen Versuchen (Comptes rendus 1892, CXV, p. 678) hat der Verfasser dieses Buches als unhaltbar nachgewiesen (vgl. Naturwissenschaftliche Rundschau Bd. VIII, S. 40). — Übrigens fehlt es nicht an Anzeichen dafür, daß die Verdoppelungen vielleicht als bloße Verbreiterungen zu betrachten sind. L. Brenner, jedenfalls ein sehr guter Planetenbeobachter, hat (vgl. Astronomische Nachrichten 3411) im Jahre 1896 außer 82 Schiaparellischen und 13 Lowellschen Kanälen noch 31 neue gesehen. Niemals aber, auch bei größter Bildschärfe, wenn gleichzeitig 30 Kanäle zu erkennen waren, sah er einen verdoppelt; nur einmal konnte das in Bezug auf zwei Kanäle „vermutet" werden. Kanäle, „die von Beobachtern, welche sonst nur wenige zu erkennen im stande sind, als doppelt bezeichnet wurden", sieht Brenner „sehr breit, aber durchaus nicht doppelt". Ähnlich erklärt ebendort V. Cerulli die sogen. Verdoppelungen: die Kanäle mit ihren scharf gezeichneten Rändern werden nach der Mitte hin matter; bei schlechter Luft oder mangelhafter Bildschärfe können sie dann doppelt erscheinen. Darf man, wo das Verdoppelungsphänomen nicht einmal streng erwiesen ist, es zu weitgehenden Schlüssen über die Marsbewohner verwerten?

in Thon, in irgend einer Weise auch mit der schnellern Abkühlung eines kleinen Himmelskörpers zusammen. Soweit ferner die häufigen Änderungen im Umrisse der Gewässer und Festländer nicht reine Wirkungen der geänderten optischen Mittel sind — und Schiaparellis Beobachtungen am Sonnensee sprechen laut dagegen —, muß man sich sagen, daß sie ein ziemlich ebenes, von hohen Gebirgen im ganzen freies Land voraussetzen. Der regelmäßige Verlauf der Kanäle spricht nicht dagegen.

Es giebt nun ein Mittel, zu entscheiden, ob die Marsmeere aus Wasser bestehen. Wasser wirft das Sonnenlicht mehr oder weniger spiegelnd zurück. Das stimmt schlecht zu dem Aussehen der Marsmeere. Zudem muß bei der spiegelnden Zurückwerfung das Licht zum großen Teile polarisiert werden, d. h. eine Änderung erfahren, derzufolge die Ätherteilchen unter den zahlreichen zur Fortpflanzungsrichtung senkrechten Schwingungsrichtungen bestimmten den Vorzug geben. Die zerstreute Reflexion, z. B. an Gesteinen, polarisiert den Lichtstrahl dagegen nicht. Nun glaubt man neuestens festgestellt zu haben, daß das schwache, uns von den Marsmeeren zukommende Licht unpolarisiert ist. Dann können es nicht wohl wirkliche Meere sein, man darf sie aber immerhin für sumpfige, mit dunkel gefärbtem Pflanzenwuchs bestandene Gegenden halten. Die Polarisationsfrage ist wohl noch nicht spruchreif; die Forscher, die die Kanäle für Wasserstraßen halten, heben aber hervor, diese Straßen könnten so schmal sein, daß sie uns überhaupt nicht sichtbar würden, sondern nur die zu beiden Seiten entstehende Vegetation. — Daß die hellen roten und gelben Gebiete unsern Festländern ähnlich sind, kann man eher glauben; einige haben auch ihre Farbe als eine solche von organischer Natur hinstellen wollen. Für die Wassernatur der Meere sprechen übrigens auch noch die Erscheinungen an den Polarzonen, wenn man diese, wie es doch am natürlichsten ist, als Schneezonen deutet. Wenn die nördliche Kalotte mit steigender Frühlingssonne kleiner wird, verdunkelt sich das umgebende Festland. Man darf dabei wohl an Überschwemmungen denken.

Nun aber die Kanäle! Warum durchziehen sie mit dieser strengen Regelmäßigkeit das nördliche Festland und einen großen Teil des südlichen? Warum münden sie zu großen Seen zusammen, und warum verdoppeln sie sich?

Wenige Vermutungen der Gelehrten sind in der letzten Zeit so rasch ins Volk gedrungen wie die kühne Ansicht, daß die schwarzen, periodisch verdoppelten Linien auf dem Mars nicht nur dem Namen nach, sondern auch in Wahrheit Kanäle seien: Wasserstraßen, von denkenden Geschöpfen angelegt, oder mindestens unterhalten und ausgenutzt, zu Verkehrszwecken und zur sorgfältigen Bewässerung des Kulturlandes auf dem allmählich austrocknenden Planeten. Zwei Gründe sind es hauptsächlich, die der Kanaltheorie Anhänger zuführen, abgesehen natürlich von dem blindgläubigen Laien-

publikum. Einmal erscheint die Ansicht, daß die Erde nicht der einzige bewohnte Körper im Sonnensystem ist, an sich viel natürlicher als die entgegengesetzte Meinung: wenn die Erde seit Coppernicus nicht mehr die Königin des Weltalls ist, warum soll man ihr dann ein Vorrecht lassen, worauf jeder andere Planet denselben Anspruch erheben könnte? Nun ist aber anscheinend Mars der einzige Planet, bei dem die Beobachtung allenfalls über die Frage der Bewohntheit entscheiden könnte; bei Merkur und Venus, wo man ja nicht einmal die viel leichtere Rotationsfrage endgültig hat erledigen können, sind die Sichtbarkeitsbedingungen viel zu ungünstig, während bei dem Monde, den Asteroiden und den großen äußern Planeten andere Schwierigkeiten vorliegen, und dazu der Mond, soviel wir sehen können, thatsächlich unbewohnt ist. Da liegt es denn wahrhaftig nahe, sich beim Mars, dessen Oberfläche uns relativ gut bekannt ist, an eine Erscheinung zu klammern, die auf zwecksetzende, das Spiel der Naturkräfte durchbrechende Thätigkeit hindeutet; es liegt erst recht nahe, wenn man in dem Farbenwechsel an den Rotationspolen offenbare Gegenstücke zu bekannten irdischen Vorgängen zu sehen gezwungen ist.

Liegt ferner die vollständige Unmöglichkeit vor, die Kanäle physikalisch zu erklären, so muß es eine gesunde Logik thatsächlich für das beste halten, sie als Kunstbauten aufzufassen; aus irgend einer Ursache müssen sie doch entstanden sein [1], und auch die Verdoppelung, einen vorläufig weder optisch noch mechanisch verständlichen Vorgang, muß man dann ähnlich deuten.

Die Frage ist nur, ob wir denn alle andern Möglichkeiten des Entstehens und der Verdoppelung der Kanäle auch wirklich kennen. Bedenkt man die große Verschiedenheit, welche in Bezug auf Größe und Dichte zwischen dem Mars und der Erde besteht, bedenkt man ferner, daß dem merkwürdigen Himmelskörper Hochgebirge in dem Sinne der unsrigen zu fehlen scheinen trotz der geringern Schwerkraft, deren Einfluß sich doch auf dem Monde in den grotesken Bergformen seiner Krater deutlich genug ausspricht; überlegt man, wie wenig Bestimmtes wir selbst über diese Mondberge und über den Grad der Wasseraufsaugung auf der uns so nahen Mondfläche angeben können, dann ist ein bescheidenes Abwarten neuer Ergebnisse, ein sorgfältiges Vergleichen der einzelnen Beobachtungen und Theorien immer noch besser als die blinde Annahme der Kanaltheorie und der Bewohntheit des Mars, wofür wir doch keinen andern Anhalt besitzen als eben die bis jetzt unerklärten Formen und Verdoppelungen der schwarzen Linien. Wenn jemand aussprechen wollte, daß die Kanäle eine bestimmte Art des Aufklaffens der Oberfläche darstellten, daß aus physikalischen Gründen

[1] Ein direktes Eingreifen des Schöpfers wird auch der strenggläubige Gelehrte nicht ohne zwingenden Grund annehmen.

immer zwei parallele Spalten entständen, wovon unter gewöhnlichen Verhältnissen nur die eine, unter außerordentlichen auch die andere gefüllt wäre; wenn er den gegenwärtigen Zustand des Mars als eine Phase deutete, der die Erde noch zustrebt und die sie in irgend einer andern Form erreichen wird, während sie der Mond, Gott weiß in welcher Form, überstanden hat; wenn jemand so die Kanäle für die reine Kausalität der Naturkräfte retten wollte, dann könnte man ihm zwar mit Recht erwidern, durch solche allgemeinen Wendungen werde nichts erklärt. Gewiß nicht; aber ist es mit der Kanaltheorie anders? Mit Mühe hat es die Physiologie nahezu fertig gebracht, das Spiel der Kräfte im menschlichen Körper aufzudecken, beim Blutkreislaufe z. B. darzulegen: hier ist das zu überwindende Gewicht, hier ist die Energie des sich zusammenziehenden Herzmuskels, hier die Kapillarität der Gefäße, ferner: hier die Wärmemenge und Feuchtigkeit, welche durch die Haut an die Luft abgegeben werden und durch Ernährung, durch chemische Prozesse im Körper ersetzt werden müssen. Wir kennen zur Not auch die Energiemengen, welche uns die wohlbekannten Nährpflanzen zu liefern im stande sind. Für die Pflanzenwelt gilt dieselbe Erwägung wie für den Menschen: hier kennen wir etwas davon — aber drüben? Eine mehr als doppelt so kleine Schwere, also — man kann es zugeben — der doppelte Hub mit demselben Arbeitsaufwande, aber auch eine ganz andere Luft mit anderm Drucke, mit andern Strömungen. Die Periode der Jahreszeiten ist doppelt so lang wie bei uns; die Extreme des Wetters sind schärfer. Welches tierische oder pflanzliche Hautsystem wollen wir z. B. annehmen, da doch die Gelehrten noch nicht einmal darüber einig sind, ob die Marsluft trockener oder feuchter ist als die Erdenluft? Welcher Knochen- und Holzzellenbau wird dort das richtige Gleichgewicht zwischen der geänderten Schwere und den ungeänderten molekularen Kräften darstellen? Welche Ernährungsform muß man annehmen, da noch nicht einmal ausgemacht ist, ob der vergehende Polarschnee zu Wasser oder zu flüssiger Kohlensäure wird? Die wehmütige Frage mag dort auch wohl erklingen: Où sont les neiges d'antan? wo ist der Schnee vom letzten Winter geblieben? Sie mag dort auch ertönen, wenn es Wesen giebt, die geordnete Schallwellen zu erregen und wahrzunehmen im stande sind. Woher weiß man es?

Sagt man, das heiße den Standpunkt verschieben, und es genüge, in den Kanälen überhaupt Ergebnisse überlegender Thätigkeit zu finden, während man sich die Erbauer so seltsam denken könne, wie man wolle, dann antworten wir: Gut, aber ihr werdet Schwierigkeiten genug finden, und alle Analogien hören auf.

Die Kanaltheorie setzt nämlich offenbar voraus, daß das weite Gebiet des Planeten (Fig. 129 u. 130) nach einem einheitlichen Plane, vermutlich von einer herrschenden Rasse verwaltet werde. Von 50° Südbreite bis nahe

an den Nordpol ziehen die merkwürdigen schwarzen Linien. Sie ziehen Tausende von Kilometern in gerader Richtung fort, und bis zu 400 km geht der Abstand zweier Parallelkanäle voneinander. Welch ungeheure Technik, die solche Werke aufführt, denen gegenüber der Suezkanal, die Pyramiden und die chinesische Mauer aus der Spielschachtel genommen zu sein scheinen! Welch anpassungsfähige Rasse, die nicht nur in dem relativ gemäßigten Klima der nördlichen, sondern auch in den heißen Sommern und eisigen Wintern der südlichen Halbkugel die Kanäle in gutem Stande erhält, wie gleichförmige Vegetationsbedingungen in so verschiedenen Breiten, wenn in der nördlich kalten Zone das Netz anscheinend ebenso dicht ist wie in der heißen!

Je mehr man über diese Schwierigkeiten nachdenkt, denen auch die liebe Elektricität, am Ende doch auch eine meßbare Naturkraft, nicht im Sinne der Kanal-Enthusiasten abhelfen kann, desto begreiflicher findet man den Standpunkt des ruhigen Abwartens in dieser merkwürdigen Angelegenheit. Vielleicht lassen sich die Kanäle oder doch die auffallend raschen Veränderungen, welche mit ihnen vorgehen, wenn nicht optisch, so doch meteorologisch, d. h. als Zustände in der Marsatmosphäre erklären, die durch darunter liegende wirkliche Kanäle, d. h. etwa durch breite und tiefe Bruchspalten bestimmt werden. Ausdrücklich wollen wir noch betonen, daß uns eine Bewohnbarkeit gerade des Mars durch belebte und auch wohl durch denkende Wesen, die nur sehr verschieden von den irdischen sein müßten, durchaus natürlich vorkommt. Wir möchten nur vor der in der That übereilten Annahme warnen, als müßten diese Wesen die Kanäle gebaut haben.

* * *

Schon vorhin (S. 384, 385, vgl. auch die Fig. 74 u. 75 S. 206 f.) ist mitgeteilt worden, daß die Perihel-Opposition von 1877 die günstigste des 19. Jahrhunderts gewesen ist. Sie hat dem Astronomen Asaph Hall in Washington zur Entdeckung der lange vergeblich gesuchten, höchst merkwürdigen Monde des Mars verholfen. Diese Himmelskörper sind nicht nur wegen ihrer geringen Lichtstärke, welche der von Fixsternen 12. Größe gleichkommt, sehr schwierige Beobachtungsgegenstände, sondern auch wegen ihres auffallend geringen Abstandes vom Centralkörper. Unsere Fig. 131 giebt das Größenverhältnis der Trabantenbahnen zur Marskugel richtig an; doch sind die nur schwach excentrischen Bahnen hier in starker perspektivischer Verzerrung gezeichnet, wie sie übrigens auch (vgl. Fig. 74 u. 75 S. 206 f.) der Marsäquator für uns erfährt, in dessen Ebene sie nahezu liegen. Als Begleiter des Ares hat man, an einige homerische Stellen[1] anknüpfend, die Monde Phobos

[1] Il. 4, 440; 15, 119; 13, 299 u. a. — Es sei noch bemerkt, das es Herrn Kostinski zu Pulkowa im Jahre 1896 gelungen ist, den Deimos zu photographieren.

und Deimos (Furcht und Schrecken) genannt. Da sie auch in den besten Fernrohren nur als unmeßbare, fixsternähnliche Punkte erscheinen, ist man betreffs ihrer sehr geringen wahren Größe auf Vermutungen angewiesen. Nimmt man an, daß sie das Sonnenlicht ebenso stark zurückwerfen wie die Marsfläche im Durchschnitt [1], so kann man aus dem Verhältnis der Lichtmengen auf das der Lichtscheiben schließen und findet daraus weiter für Phobos einen Durchmesser von 9,4 km, für Deimos nur 8,1 km. Die Monde müßten schon aus sehr dunkeln, fast schwarzen Stoffen bestehen, wollte man ihre Durchmesser erheblich größer annehmen.

Der Abstand vom Marscentrum beträgt für Phobos 2,77, für Deimos 6,92 Halbmesser des Planeten, das sind 9300 und 23 000 km. Von der Oberfläche stehen sie also nur um 1,77 und 5,92 Halbmesser ab, d. h. um 5900 und 19 600 km. Sie umkreisen den Centralkörper in $7^h\,39^m$ und $30^h\,18^m$ mittlerer irdischer Sonnenzeit. Auf Grund der Gesetze von Kepler und Newton ist man im stande gewesen, aus den Bewegungen der Monde die Masse des Mars recht genau zu bestimmen (vgl. S. 265).

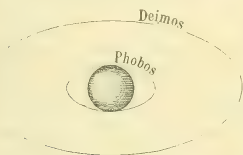


Fig. 131. Die Bahnen der Marsmonde.

Jener rasend schnelle Umlauf [2] der Trabanten muß merkwürdige Erscheinungen hervorrufen. Phobos läuft viel schneller um den Planeten, als dieser rotiert; für einen Beobachter auf dem Mars beträgt die stündliche [3] scheinbare Drehung des Himmels $\frac{360^0}{24{,}62}$, die stündliche wahre Bewegung des Phobos $\frac{360^0}{7{,}65}$, also scheint sich Phobos für den Marsbürger in einer Stunde um

$$360^0 \left(\frac{1}{7{,}65} - \frac{1}{24{,}62}\right) = 32^0{,}4$$

zu verschieben, und zwar in der Richtung des Phoboslaufes, d. h. für einen nördlichen Beobachter gegen den Zeiger; denn das ist im Sonnensystem die Richtung fast aller wahren Rotationen und Umläufe. Phobos läuft also in etwa 11 Stunden einmal um den Beobachter, in einem Tage mehr als zweimal, und zwar gegen den täglichen scheinbaren Himmelslauf. Er geht in einem Tage zweimal im Westen auf und im Osten unter.

Für Deimos erhalten wir als stündliche Verschiebung, und zwar hier im Sinne des scheinbaren Himmelslaufes

$$360^0 \left(\frac{1}{24{,}62} - \frac{1}{30{,}30}\right) = 2^0{,}74.$$

[1] Nämlich wie ein gleichmäßig gefärbter Stern, dessen Oberfläche nur ebensoviel Licht zuwürfe wie die so wechselvoll gefärbte Marsfläche.

[2] Rasend schnell für einen Beobachter auf dem Mars; linear geht selbst Phobos nur etwa doppelt so schnell wie der Erdmond. [3] Irdische Sonnenstunden.

Das macht für den Tag erst 66 Grad, so daß Deimos in etwas mehr als fünf Tagen, ziemlich genau in fünf Marstagen, für einen Marsbürger einmal auf- und untergeht. Wegen des schnellen Laufes der Monde und des viel langsamern der Sonne sind die synodischen Umlaufszeiten, worin sich die Phasen wiederholen, nur wenig größer als die siderischen. Vom Mars aus wird man diese aber kaum beobachten können, da die Monde selbst in der Zenithkulmination, wo sie dem (äquatorialen) Beobachter am nächsten sind, nur unter Winkeldurchmessern von $\frac{9,4}{5900} = \text{arc } 6'$ und $\frac{8,1}{19600} = \text{arc } 1',4$ erscheinen. Vom Centrum der Kugel aus erscheinen die Monde sogar nur unter Winkeln von $3',6$ und $1',2$. Ungefähr haben sie diese Größe auch für einen Marsbürger, der sie aufgehen sieht. Überhaupt wird die Parallaxe den Lauf eigentümlich entstellen und außerdem den Glanz der Monde, insbesondere des Phobos, sehr stark ändern [1].

Man kann sich in ähnlicher Weise die höchst seltsamen Erscheinungen vorzustellen suchen, die für einen Bewohner des Phobos oder Deimos die Scheibe des Centralkörpers Mars mit ihren rasch veränderlichen Phasen darbieten würde. Wir sagen: würde; denn für ein Himmelskörperchen, dessen Durchmesser über 1000mal kleiner ist als der der Erde, dessen Oberflächenschwere also mindestens in einem ähnlichen Verhältnisse kleiner ist als die irdische, kann man sich gar keine Lebensbedingungen vorstellen, da bei uns im Bauplan eines jeden Wesens die Rücksicht auf Schwerkraft und Luftdruck wahrzunehmen ist. Würde doch auf einem solchen Monde ein leichter Stoß, ein Schuß mit einem Flitzbogen schon hinreichen, um einen Gegenstand der „Welt" für immer zu entziehen — einer Welt, deren Umfang von einem rüstigen Fußgänger in einem Nachmittage zurückgelegt werden könnte.

Für einen Marsbewohner giebt es drei „untere" Planeten, nämlich Merkur, Venus und Erde. Die Erde kann ihm unter demselben Durchmesser erscheinen wie einem Merkurbewohner, übrigens aber unter viel ungünstigern Umständen. Der Mond, in dem uns bekannten Verhältnisse kleiner, stände neben ihr, immer sehr genau in derselben Phase, die sich aber für beide Sterne nur mit dem Fernrohr nachweisen ließe. Was wir eine Bedeckung des Mars durch den Mond nennen, würde dem Marsbewohner als ein Vorübergang des Mondes vor der Erde erscheinen. Wie sich ein solcher Vorgang im einzelnen abspielen würde, das mag sich der Leser unter Berücksichtigung der Größenverhältnisse und der gegenseitigen Stellung der vier in Betracht kommenden Weltkörper selbst ausmalen.

Jupiter wird den Marsbürgern schon merklich heller erscheinen als uns, namentlich wenn seine Opposition mit ihrem Aphel zusammenfällt.

[1] Wie man aus dem Verhältnis der Entfernungen leicht ableitet, ist Phobos im Zenith eine $2^1/_2$mal so große Scheibe wie im Horizont.

Einen besondern Reiz werden aber dem Himmel des Marsbewohners die dort sichtbaren kleinen Planeten verleihen, von denen viele zeitweilig in sehr hellem Glanze erstrahlen und durch ihre stark excentrischen und geneigten Bahnen auffallen werden.

Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Die kleinen Planeten. — Photographien des Sternenhimmels.

Von der Gruppe der innern Planeten: ☿, ♀, ♁ + ☾ und ♂, ist die der äußern: ♃, ♄, ♅ und ♆, scharf unterschieden. Obgleich viel weiter von uns entfernt als Mars, ist doch Jupiter, seiner gewaltigen Größe zufolge, gewöhnlich bedeutend heller als Mars, abgesehen von dessen günstigsten Oppositionen; auch der noch viel weitere Saturn ist noch recht hell und groß, und die in der neuern Zeit entdeckten Himmelskörper Uranus (♅) und Neptun (♆) sind zwar kleiner als jene beiden und für uns recht lichtschwache Sterne, aber jeder von ihnen ist weit größer als die sieben[1] innern Wandelsterne zusammengenommen.

Ebensosehr kennzeichnet die plötzliche starke Vergrößerung des Abstandes den Jupiter als ersten aus einer neuen Reihe. Es ist früher (S. 209) erörtert worden, wie sinnreich Kepler durch Einschaltung des Tetraeders diesen Sprung zu vermitteln suchte, als er auf die Polyedertheorie verfallen war. Die auch von ihm späterhin geäußerte Vermutung, es möchte wohl zwischen den Bahnen von ♂ und ♃ noch ein uns unbekannter Planet kreisen, hat seitdem viele Denker beschäftigt; im 18. Jahrhundert stellte der Wittenberger Professor Titius eine empirische Regel für die Planetenhalbachsen auf. Sie wird gewöhnlich, obgleich mit Unrecht, nach Johann Elert Bode, der um 1800 in Berlin wirkte, die Bodesche Regel genannt.

Nimmt man nämlich als Einheit den zehnten Teil der großen Bahnhalbachse der Erde, so kann man die großen Halbachsen der andern Planetenbahnen durch Näherungswerte darstellen, die ein bestimmtes mathematisches Gesetz befolgen, so wie es nachstehende Tafel angiebt.

Planet.	Genäherter Halbachsenwert.	Wahrer Halbachsenwert.	Abweichung.
☿	4 + 0 · 3 = 4	3,87	+ 0,13
♀	4 + 1 · 3 = 7	7,23	0,23
♁	4 + 2 · 3 = 10	10,00	0,00
♂	4 + 4 · 3 = 16	15,24	+ 0,76
x	4 + 8 · 3 = 28		
♃	4 + 16 · 3 = 52	52,03	— 0,03
♄	4 + 32 · 3 = 100	95,39	+ 4,61
♅	4 + 64 · 3 = 196	191,83	+ 4,17
♆	4 + 128 · 3 = 388	300,57	— 87,43

[1] Nämlich ☿, ♀, ♁, ☾, ♂, Phobos und Deimos.

Die wahren Halbachsenwerte für die Bahnen der Planeten ☿, ♀, ♁, ♂, ♃, ♄, ♅, ♆ sind hier auf Grund der Beobachtungen und der Keplerschen Gesetze angegeben; es muß bemerkt werden, daß ♅ und ♆ dem Titius unbekannt waren, ♆ auch noch dem Berliner Astronomen Bode. Die als „Abweichung" bezeichnete Zahl giebt an, um wieviel von den gewählten Einheiten der aus der Reihe folgende Näherungswert größer oder kleiner ist als der wahre. Wie man sieht, ist die Abweichung bei den dem Altertum bekannten Planeten, auch noch beim Uranus, mäßig, während sie bei Neptun, absolut und auch relativ genommen, sehr groß ist. (Vgl. S. 446—447.)

An der Reihe selbst hat schon der große Gauß getadelt, daß das erste Glied gesetzwidrig gebildet ist, indem das allgemeine Glied $4 + 3 \cdot 2^n$ heißt und $n = 0$ für Venus gilt; für Merkur hätte man hiernach $4 + 3 \cdot 2^{-1} = 4 + \frac{3}{2} = 5{,}5$, und nicht $4 + 0 \cdot 3$. Im übrigen ist die Lücke zwischen ♂ und ♃ so groß, daß die Einschaltung eines unbekannten, noch zu entdeckenden Planeten, x mit dem mittlern Sonnenabstande 28, durchaus gerechtfertigt erscheint.

Zur planmäßigen Aufsuchung dieses Planeten x, der jedenfalls nicht sehr groß sein konnte, weil er sich sonst der Beobachtung nicht so lange hätte entziehen können, bildete sich zu Ende des 18. Jahrhunderts eine Gesellschaft von Astronomen. Ihre Arbeiten, die in den ersten Anfängen stecken blieben, wurden jedoch überflügelt durch die halb zufällige Entdeckung der Ceres, die dem Theatinermönche Giuseppe Piazzi in Palermo glückte.

Zu allen Zeiten ist eine Hauptaufgabe der beobachtenden Astronomie die möglichst genaue Bestimmung zahlreicher Fixsternörter nach RA und Decl gewesen. Die Fixsterne bilden, wie man weiß, die wichtigsten Orientierungspunkte an der Sphäre; ihre Örter werden für viele anderweitige Zwecke erfordert, und auch für die Erforschung des Fixsternhimmels selbst und seiner Veränderungen hat man sie nötig. Mit der fortschreitenden Verstärkung und Verfeinerung der optischen Mittel hat man die Positionsbestimmungen auf immer schwächere Fixsterne auszudehnen und sie immer schärfer zu machen gelernt.

Mit der Anfertigung eines neuen Sternverzeichnisses beschäftigt, notierte Piazzi am Abende des 1. Januar 1801 neben einem bereits von La Caille vermerkten Fixsterne einen andern, schwächern Stern, dem er die 8. Größe gab. Da er am folgenden Abende die RA und Decl der Sterne neu bestimmte, fand er in diesen Größen für den schwachen Stern eine Änderung. Das konnte auf einer Täuschung beruhen, weil bei dem anstrengenden Beobachten der Durchgänge vieler Fixsterne durch das Gesichtsfeld des Fernrohres fehlerhafte Notierungen nicht ausgeschlossen sind. Da indessen die Beobachtungen vom 3. und 4. Januar eine weitere Änderung der RA und

Decl in demselben Sinne wie die am 2. gemachte ergaben, so war nicht mehr daran zu zweifeln, daß der beobachtete Himmelskörper trotz seines sternartigen Aussehens kein Fixstern war.

Was für ein Himmelskörper war es denn? Wir wissen, daß die bekanntern Sterne, die ihren Ort an der Sphäre verändern, als Planeten bezeichnet werden; die Planetenmonde können dabei mitgezählt werden. Später, im 31. Kapitel, werden wir von weitern Himmelskörpern, den Kometen, hören, die gleichfalls um die Sonne laufen und für uns ihren Ort an der Sphäre verändern; ihre wahren Bahnen weichen jedoch in der Gestalt so auffallend von denen der Planeten ab, daß im allgemeinen[1] von Übergängen nicht geredet werden kann. Zudem ist das Aussehen der meisten Kometen von dem der Planeten genugsam verschieden, um jede Verwechslung auszuschließen. Sie erscheinen als matt und unregelmäßig begrenzte Gebilde, gewöhnlich aus einem hellen Kern und einer schwächern Nebelhülle bestehend; manchmal sind sie geschweift, die dem freien Auge sichtbar werdenden sind es fast immer.

Kometen werden ziemlich oft beobachtet, aber ein neuer Planet war bis dahin erst einmal entdeckt worden[2]. Daher erklärt es sich, daß Piazzi lange Zeit die Möglichkeit offen ließ, daß er einen ungewöhnlich scharf begrenzten Kometen beobachtet habe. Andere Astronomen dagegen, z. B. Bode, waren bald überzeugt, daß der lange gesuchte Himmelskörper zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter gefunden sei. Vorläufig gab ihm Piazzi den Namen „Ceres Ferdinandea“ mit Rücksicht auf das kornreiche Sicilien und auf dessen König.

Schon wenige Wochen nach der Entdeckung war Ceres der Sonnenkonjunktion so nahe gekommen, daß auf ihre Beobachtung zunächst verzichtet werden mußte. Ob man sie so bald wiederfinden würde, das war fraglich genug. Zur Vorausberechnung des künftigen Ortes eines Planeten braucht man, wie wir wissen, seine Bahnelemente. Bei den alten Planeten waren diese relativ leicht zu ermitteln, weil eines der wichtigsten, nämlich die Umlaufszeit, durch die Aufzeichnungen mehrerer Jahrtausende in großer Schärfe gegeben war. Für das Verhältnis der mittlern Sonnenabstände gaben beobachtete Oppositionen einen guten Anhalt, und im übrigen konnte man verfahren wie Kepler in seiner schönen Bestimmung der Elemente des Mars.

Andererseits hatte man schon gelernt, die Bahn eines Kometen aus wenigen Beobachtungen herzuleiten, aber nur unter der meistens ziemlich genau zutreffenden Annahme, daß die Bahnellipse als eine Parabel aufzufassen sei. Die Parabel ist eine Ellipse mit einer unendlich fernen Apside, oder wie man auch sagen kann, mit der Excentricität 1. Man kann also

---

[1] Vgl. jedoch Kap. 31 S. 458 oben.

[2] Nämlich Uranus im Jahre 1781; vgl. das 30. Kapitel S. 437—439.

dieses Element, welches bei einer Planetenbahn unbekannt ist, bei Kometen zunächst als bekannt voraussetzen.

Das große Problem, aus wenigen Beobachtungen eine Planetenbahn herzuleiten, wurde noch im Jahre der Ceres-Entdeckung glücklich gelöst durch einen der größten Geister aller Zeiten. Karl Friedrich Gauß, damals erst 24 Jahre alt, legte die mathematische Ableitung der Ceresbahn aus den nur sechs Wochen umfassenden Beobachtungen von Piazzi in einem Aufsatze dar, und schon am 7. Dezember 1801 war Zach so glücklich, die Ceres auf Grund der Vorausberechnung wiederzufinden.

Die Rechnung ergab für Ceres die große Bahnhalbachse 2,7679; nimmt man nicht die Bahnhalbachse der Erde, sondern, wie vorhin, deren zehnten Teil als Einheit, so erhält man für Ceres 27,68, eine Zahl, die, wie man sieht, mit der Bodeschen Regel vorzüglich übereinstimmt. Die Umlaufszeit beträgt 4,6 Jahre; die Excentricität 0,077 wird nur von den Excentricitäten zweier alten Planeten, ☿ und ♂, übertroffen. Der Durchmesser des Planeten kann auf Grund der Messungen von Barnard auf dem Mount Hamilton zu 804 km angenommen werden; er ist also 15,86mal kleiner als der Äquatorialdurchmesser der Erdkugel, woraus man für Oberfläche und Volumen etwa 1 : 250 und 1 : 4000 erhält. Ceres ist also noch viel kleiner als der Mond, und zwar noch in stärkerem Betrage, als dieser selbst kleiner ist denn unsere Erde. Eine Massenbestimmung läßt sich bei Ceres ebensowenig vornehmen als bei ihren zahlreichen Geschwistern; daß deren Gesamtmasse noch nicht den vierten Teil der Erdmasse ausmachen kann, indem sonst die Bewegung des Mars merkbar gestört werden würde, hat Leverrier nachgewiesen. — Die Bahn der Ceres ist um 10° 37′ gegen die Ekliptik geneigt, stärker als die Bahn eines der großen Planeten.

Der bremische Arzt Olbers, berühmt als Urheber der kürzesten und einfachsten Methode, aus nur drei Beobachtungen eine parabolische Kometenbahn zu berechnen, suchte 1802, März 28. die Ceres auf. Ganz nahe bei diesem Himmelskörper bemerkte er ein Sternchen 7. Größe, und da er die hellern teleskopischen Sterne sehr gut kannte[1], sagte er sich, daß das kein Fixstern, sondern wieder ein Komet oder Planet sei. Längere Beobachtungen ergaben die Bahnelemente: große Halbachse $a = 2{,}7730$; Excentricität $e = 0{,}2370$, Neigung $i = 34^\circ\, 41'$, Umlaufszeit $u = 4{,}618$ Jahre. Der später (in den 90er Jahren) von Barnard bestimmte Durchmesser ist gleich 486 km, also mehr als siebenmal in dem Durchmesser unseres Mondes enthalten. Der neue Planet — ein Komet war es nicht, wie sich bald herausstellte — wurde Pallas genannt.

[1] Wie erzählt wird, konnte man Olbers durch ein Fernrohr mit hinreichend weitem Gesichtsfelde sehen lassen, und er war, ohne vorher die Himmelsgegend zu kennen, durch den Anblick der Fixsterne sofort orientiert.

Auch die beiden folgenden Planetenentdeckungen sind in Norddeutschland gemacht worden. An der Sternwarte zu Lilienthal bei Bremen, 1804, Sept. 1., fand Harding auf ähnlichem Wege, wie seiner Zeit Piazzi die Ceres entdeckt hatte, den Planeten Juno. Für diesen ist $a = 2{,}6714$, $u = 4^a{,}366$, $\mathfrak{e} = 0{,}2544$, $i = 13^0\ 2'$. Eine Durchmesserbestimmung, wie bei Ceres und Pallas, ist bis jetzt noch nicht gelungen.

Am 29. März 1807 entdeckte Olbers die Vesta. Sie ist der hellste unter den kleinen Planeten, und man hat sie schon öfter mit freiem Auge gesehen, da sie in günstigen Oppositionen die 6. Sterngröße erreicht. Es ist für diesen Himmelskörper $a = 2{,}3614$, $u = 3^a{,}629$, $\mathfrak{e} = 0{,}0900$, $i = 7^0\ 8'$. Für die Länge des Durchmessers hat Barnard 386 km gefunden, also weniger als bei Ceres und Pallas.

Anstatt des einen gesuchten Planeten zwischen Mars und Jupiter hatte man nun ihrer vier, deren Stellung im ganzen der Bodeschen Regel entsprach. Die von dem scharfsinnigen Olbers geäußerte Ansicht: da die Bahnen aller vier ziemlich genau einen gemeinsamen Durchschnittspunkt hätten, müßten sie wohl durch Zersprengung eines größern Himmelskörpers entstanden sein, erwarb sich viele Freunde; doch ist sie durch die spätern Entdeckungen nicht bestätigt worden.

Inzwischen hatte man die Anlage immer genauerer Karten des Fixsternhimmels in die Hand genommen. Mit Hilfe eines Blattes der von der Berliner Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Karten, der sogen. akademischen Sternkarten, fand ein Liebhaber der Himmelskunde, der Postmeister Hencke in Driesen bei Dessau, im Jahre 1845 die Asträa und 1847 die Hebe, der nach wenigen Wochen die Iris folgte, eine Entdeckung von Hind in London.

Seitdem ist eine überraschend große Menge von kleinen Planeten durch die Bemühungen verschiedener Astronomen aufgefunden worden. Da die Bahn eines jeden auch für den irdischen Beobachter die Ekliptik in zwei Punkten schneiden muß, genügte es, die zur Entdeckung notwendigen genauen Karten des Fixsternhimmels nur über einen schmalen Gürtel zu beiden Seiten der Ekliptik auszudehnen. Die so entstandenen Ekliptikalkarten haben, da sie auf sehr schwache Sterne ausgedehnt wurden, außer ihrem nächsten Zwecke auch noch der Fixsternkunde gedient, indem die Veränderlichkeit des Lichtglanzes vieler Fixsterne mit ihrer Hilfe festgestellt ist.

Es würde, ganz abgesehen von den uns hier gesteckten Grenzen, dem Leser wenig nützen, wenn wir ihn mit den Namen, Elementen und entdeckungsgeschichtlichen Angaben für alle kleinen Planeten, auch nur in tabellarischer Übersicht, bekannt machen wollten. Was besonders die Namen angeht, so hat man nach Erschöpfung der altklassischen Quellen zur nordischen, slawischen, selbst zur indischen und chinesischen Götterwelt seine Zuflucht genommen;

man hat dem nationalen Selbstgefühl durch Namen, wie Gallia, Germania, Austria, Johanna, Liberatrix, geschmeichelt, die Entdeckungsorte durch Namen, wie Polana, Lutetia, verewigt, selbst das Hereinziehen von Romanfiguren (Sirona) nicht gescheut und auch wohl der persönlichen Galanterie Weihrauch geopfert. Die Überwachung und Berechnung der zahlreichen kleinen Planeten ist eine ungemein lästige Aufgabe; die vielfach auftretenden starken Excentricitäten und Neigungen gestalten die Vorausberechnung umständlich, die bedeutenden Störungen durch Jupiter verwickeln sie noch mehr. Den zuerst entdeckten gab man außer den Namen noch Zeichen, die, wie die Zeichen der alten Planeten, auf die Mythologie des Namens deuteten; so deuten ⚳, ⚶, ⚵, ⚴ der Reihe nach auf die Sichel der Ceres, das Herdfeuer der Vesta, das Scepter der Juno und die Lanze des Pallas. Später hat man für alle kleinen Planeten eingeklammerte Zahlen als Zeichen eingeführt, welche die Reihenfolge der Entdeckung angeben; so werden Ceres, Pallas, Juno, Vesta, Astraea, Hebe, Iris der Reihe nach durch ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦ bezeichnet.

Unter den Namen der glücklichsten Entdecker glänzen R. Luther in Bilk bei Düsseldorf, C. H. F. Peters in Clinton (N. Y., U. S. A.), Palisa in Pola, Paul und Prosper Henry in Paris und der Historienmaler Goldschmidt ebendort, Charlois in Nizza.

* * *

Im Jahre 1891 war die Anzahl der bekannten Asteroiden auf 322 gestiegen, und die Last und Mühe, welche ihre Identificierung, Berechnung und Wiederaufsuchung den Astronomen verursachte, drohte ins Ungemessene zu wachsen, als Max Wolf in Heidelberg durch die von ihm ersonnene Methode der photographischen Entdeckung die Arbeiten wesentlich erleichterte.

Bereits im 3. Kapitel ist darauf hingewiesen worden, daß durch Aufnahme des Fixsternhimmels mit einem gewöhnlichen photographischen Apparate die tägliche scheinbare Bewegung der Sphäre schon nach wenigen Minuten zu erkennen ist. Unsere Bilder 8 und 9 (S. 18 f.) sind nach Originalaufnahmen auf photomechanischem Wege angefertigt. Fig. 8 ist von E. Stephani in Cassel aufgenommen, 1896, Nov. 30. $8^h\,15^m$ bis $9^h\,15^m$ M. E. Z. Die Mitte dieses Intervalls war $8^h\,45^m$ M. E. Z. = $8^h\,23^m$ M. Z. Cassel = $1^h\,4^m$ Sternzeit; Fig. 9 ist von demselben Amateur ebendort aufgenommen 1896, Nov. 26. $11^h\,55^m$ bis $12^h\,0^m$ M. E. Z.; Mitte $11^h\,58^m$ M. E. Z. = $11^h\,36^m$ M. Z. Cassel = $4^h\,1^m$ Sternzeit.

Da zu der Sternzeit, die der Mitte der Belichtungszeit von Fig. 8 entspricht, die Sterne kulminierten, deren RA = $1^h\,4^m$ war, so hat man nur unsere Karte der Circumpolarsterne (Tafel I) so zu drehen, daß die

Randzahl 1^h ziemlich genau oben steht, und man findet sofort, welche Sterne vom Kleinen Bären, Cepheus u. s. w. aufgenommen sind. Zahlreiche schwache Sternchen, die in unserer Karte fehlen, haben sich auf der photographischen Platte eingebrannt, so eine ganze Menge zwischen dem Nordpol und dem Parallelkreise des Polarsternes α Ursae minoris. Alle beschriebenen Bogen sind gleich 15^0, entsprechend der Drehung der Sphäre in 1^h.

Der um 4^h Sternzeit nach SSO gerichtete Apparat nahm den Orion und den Sirius auf, außerdem Teile des Fuhrmanns und der Zwillinge (vgl. die Sternkarte Tafel III). Auch hier haben sehr viele dem freien Auge unsichtbare Sternchen ihre Spuren eingebrannt. Die Bogen sind hier kürzer, weil nur 5^m exponiert worden ist, und ihre Krümmung ist wegen der Nähe des Äquators fast unmerklich.

Will man eine Sternphotographie erhalten, die nicht durch die tägliche Bewegung auseinandergezogen ist, dann muß man dem Apparate eine Bewegung erteilen, wodurch für ihn die Rotation der Erde aufgehoben wird. Man erreicht das, indem man die optische Achse des Apparates eine kegelförmige Bewegung um eine zur Weltachse parallele Linie im Sinne und mit der Geschwindigkeit des täglichen scheinbaren Himmelslaufes ausführen läßt, geocentrisch gesprochen, indem man den Apparat dem Sterne nachdreht. Man nennt das eine parallaktische Bewegung des Apparates, und sie wurde schon vor der ausgiebigern Verwendung der Photographie an Beobachtungsfernrohren angebracht.

Auch die besten Uhrwerke können den schweren Massen eines Fernrohres oder einer photographischen Camera nicht eine so genaue Führung erteilen, daß die Strahlen desselben Sternes während einer längern Zeit, etwa einer Stunde, immer streng dieselbe Orientierung gegen das Rohr haben, d. h. immer dieselben Punkte der Platte treffen. Und doch ist das unbedingt notwendig, einmal um scharfe Bilder zu erhalten, dann auch um noch Eindrücke von den allerschwächsten Sternen aufzunehmen, die eben nur dadurch wahrnehmbar werden, daß sie sich in langer Zeit an einer und derselben Stelle aufhäufen.

Man verbindet nun das photographische Rohr fest mit einem parallel dazu gestellten Beobachtungsrohre, in welchem zur Orientierung ein Fadenkreuz oder Fadennetz (vgl. Fig. 11, S. 23) angebracht ist. Beide Apparate werden gemeinsam parallaktisch geführt. Der Beobachter sitzt vor dem einen Rohre, und die kleinste Unregelmäßigkeit im Gange des Werkes bemerkt er bei scharfem Zusehen sofort an einer geänderten Stellung der sichtbaren Sterne gegen das Netz. Mit Hilfe von Schrauben, die den Apparat in beliebiger Richtung und mit beliebiger Feinheit zu drehen im stande sind, erstickt er alle diese Abweichungen im Keime. Einzelne Fehlerquellen giebt es freilich, die man nicht verstopfen kann. Verfolgt man z. B. ein Himmels=

gebiet, das dem Horizonte nahe ist, dann bringt die Refraktion eine Verzerrung hervor, die man durch kein Mittel aufheben kann.

Es ist bisher vorausgesetzt worden, daß man nur Fixsterne aufnimmt. Ist einer von den Sternen im Gesichtsfelde ein Planet, so hat er außer dem allgemeinen täglichen Himmelslauf noch seine eigene Bewegung. Er wird daher auf der Platte einen Strich ziehen, wenn auch alle andern Sterne scharfe Punkte einbrennen. Damit ist der Wolfsche Gedanke ausgesprochen: man photographiere ein Gebiet des Fixsternhimmels unter sorgfältiger parallaktischer Führung des mit einem Beobachtungsrohre verbundenen Apparates, und man suche nachher unter den Punktspuren auf der Platte nach einer Strichspur; diese kann nur von einem Planeten herrühren.

So einfach das lautet, so schwer war die Ausführung. Die hellern, d. h. die in mäßig starken Fernrohren sichtbaren Planeten waren bereits gebucht; es handelte sich fast nur mehr um sehr lichtschwache Sternchen. Ihre Spuren konnten zudem nicht sehr lang sein. Geben wir der Einfachheit halber einem Planeten die Umlaufszeit von 36000^h, also von vier bis fünf Jahren. Seine mittlere stündliche heliocentrische Bewegung beträgt dann $0{,}01^0$; geocentrisch kann man in günstigen Oppositionen ein wenig mehr erhalten. Bedenkt man nun aber, daß die Spuren der täglichen Bewegung in Fig. 9 bereits $1^0{,}25$ betragen, wie sich leicht aus der Belichtungszeit ergiebt, dann sieht man, daß 1^h zur Planetenaufnahme eigentlich eine viel zu kurze Zeit ist. Dennoch darf man wegen der damit verbundenen Anstrengung, sowie manchmal auch der Refraktion wegen, 1 oder $1^h{,}5$ kaum wesentlich überschreiten; auch dann muß man eine sehr große Aufnahmelinse nehmen, um die Spuren einigermaßen deutlich werden zu lassen.

Wolf erkannte ferner die Notwendigkeit, eine Gegend des Fixsternhimmels in derselben Nacht zweimal nacheinander aufzunehmen. Denn der Strich auf der einen Platte giebt uns wohl die Richtung und Größe des Weges an, den der Planet an der Sphäre gemacht zu haben scheint, nicht aber auch den Sinn dieses Weges: der Stern kann ebensogut von links nach rechts wie von rechts nach links gewandert sein, und nur in nächster Nähe der Opposition, wo man des Rücklaufes versichert ist, schwindet der Zweifel. Sonst muß man nach der ersten Aufnahme eine zweite machen. Unsere Figuren 132 und 133 stellen ein kleines Gebiet einer solchen Karte schematisch und vergrößert dar; es wird angenommen, daß die erste Platte 1^h lang exponiert und dann sofort die zweite für 1^h eingesetzt wurde. In der Gegend des leicht erkennbaren Viereckes von Sternen finden wir auf der ersten Platte die Strichspuren a, b und c_1, die wir alle drei für Planetenspuren zu halten geneigt sein könnten. Die Vergleichung mit der zweiten Platte jedoch, eine Vergleichung, die durch mühevolles Absuchen der übereinander gelegten Platten mit der Lupe vollzogen wird, lehrt nun aber, daß zunächst die Spur a mit

dem Himmel nichts zu thun hat; sie muß auf einem zufälligen Plattenfehler beruhen, denn sonst würde sie sich auf der zweiten Platte fortsetzen. Die Spur b nimmt auf den beiden Platten genau dieselbe Stelle ein, wie das Dreieck zeigt, das sie mit den benachbarten Sternen bildet. Auch sie ist also keine Planetenspur; sie rührt von einer eng gedrängten Kette schwacher Fixsterne her, deren Bilder ineinander geflossen sind. Dagegen stellt c_1 mit der Fortsetzung c_2 auf der zweiten Platte offenbar den Weg eines Planeten dar. Sind unter den mitaufgenommenen Fixsternen einigermaßen hellere (z. B. von der neunten Größe), dann kann man ihre RA und Decl einem der gangbaren Sternverzeichnisse entnehmen, hieraus aber auch dieselben Größen für den Planeten ableiten, und zwar für drei Zeitpunkte, nämlich für den Beginn der ersten und den Schluß der zweiten Belichtung sowie für den Augenblick des Wechselns. Es ist ferner, da man die Richtung

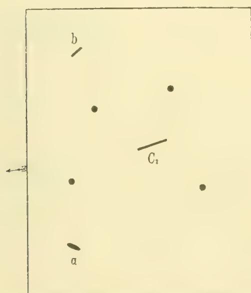


Fig. 132. Photographische Entdeckung eines kleinen Planeten, schematisch dargestellt. Erste Aufnahme.

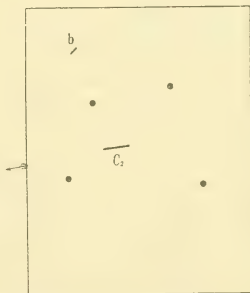


Fig. 133. Photographische Entdeckung eines kleinen Planeten, schematisch dargestellt. Zweite Aufnahme.

des Laufes kennt — sie ist in den Figuren durch einen Pfeil angedeutet —, nun auch möglich, durch einfache Multiplikation des zweistündigen Weges mit 12 einen genäherten Ort für den folgenden Tag zu berechnen, mit andern Worten, den Fund für die Zukunft zu sichern. Weitere Beobachtungen ergeben dann die Bahnelemente des Planeten. Die Methode ist besonders auch deshalb so wertvoll, weil die Platte mehr leistet als die Netzhaut des Auges: sie nimmt schwächere Eindrücke an. Wolf hat mit fünf- und sechszölligen Linsen seine Aufnahmen gemacht; er betonte selbst einmal, daß er bisher noch keinen der von ihm entdeckten Planeten am Himmel selbst gesehen habe, weil seine optischen Mittel dazu nicht hinreichten.

Dem ersten, am 22. Dezember 1891 photographisch von ihm entdeckten Planeten (323) gab Wolf zur Ehrung einer freigebigen Gönnerin der Wissenschaft, Miß Catherine W. Bruce in New York, den Namen Brucia.

Seitdem sind von Wolf und auch von Charlois in Nizza u. a. bereits weit über 100 neue entdeckt worden; die Gesamtzahl der gegenwärtig sicher bekannten kleinen Planeten kann heute (1898) auf 430 angegeben werden.

Wegen ihres fixsternähnlichen Aussehens hat man diese Himmelskörper Asteroiden[1] genannt. K. v. Littrow hat den Namen Zenareiden[2] vorgeschlagen: nach der Lage zwischen den Bahnen der Planeten Mars und Jupiter, da man nicht wissen könne, ob nicht auch in andern Gebieten des Sonnensystems noch solche Weltkörperchen zu finden seien. Auch der Name Planetoiden wird wohl gebraucht. Nur bei Ceres, Pallas und Vesta haben sich die Durchmesser bis jetzt mit leidlicher Genauigkeit bestimmen lassen. Bezüglich der jedenfalls sehr kleinen Durchmesser der übrigen ist man auf ähnliche Vermutungen angewiesen, wie solche auch der Abschätzung der Größen von Phobos und Deimos (vgl. S. 399) zu Grunde gelegt worden sind.

Die Halbachsen der Asteroidenbahnen halten sich zwischen 2,1575 (Brucia) und 4,2625 (Thule); ihnen entsprechen Umlaufszeiten von 3,17 und 8,80 Jahren. Einem Marsbewohner müssen viele Asteroiden zeitweilig recht nahe kommen und dann den gewohnten Anblick des Himmels merkbar ändern, wie schon am Schlusse des vorigen Kapitels angedeutet wurde.

Ordnet man die kleinen Planeten nach den Bahnhalbachsen und Umlaufszeiten, so zeigt sich ein ziemlich gleichmäßiges Zunehmen; an einzelnen Stellen springen die Zahlen jedoch um auffallend große Beträge. Wo nämlich die Umlaufszeit eines Asteroiden mit der des gewaltigen Jupiter in einem einfachen, durch kleine Zahlen, z. B. 2 : 7 anzugebenden Verhältnisse stände, da würden sich die Störungen in noch ärgerer Weise aufhäufen, wie die früher (S. 231—232) besprochenen Störungen zwischen Jupiter und Saturn. Die Natur hat darum diese Umlaufszeiten vermieden oder auch, eben mit Hilfe der Störungen, jene Planeten in andere Bahnen geworfen, die beständigere Verhältnisse mit sich bringen[3].

Die Neigungen und Knotenlängen sind, gleich den Excentricitäten und Umlaufszeiten, sehr voneinander verschieden. Infolgedessen sind die Bahnen so vielfach durcheinander geschlungen, daß, wenn sie Reifen aus starrem Stoffe wären, man sie alle mit einem einzigen davon aufheben könnte.

Die der Erde nahe kommenden Asteroiden liefern Anhaltspunkte für die Sonnenparallaxe, die dem Jupiter nahe kommenden lehren uns die Masse

[1] Ἀστεροειδής von ἀστήρ; sternähnlich. [2] Ζεύς, Ζηνός und Ἄρης.

[3] Wir haben hier anscheinend einen der Fälle, wo sich die Zweckmäßigkeit des Bestehenden durch den Bestand des Zweckmäßigen erklärt. Es ist dasselbe Princip, das man, bis jetzt freilich nur mit sehr unsicherem und zweifelhaftem Erfolge, als Princip der Auslese auch auf die organische Natur angewandt hat.

dieses größten aller Planeten genauer kennen; alle aber gehorchen den Gesetzen von Coppernicus, Kepler und Newton, und so bilden sie zusammen eine vielhundertfache Bestätigung der Wahrheiten, zu denen man durch Erforschung des Laufes der alten Planeten nach und nach vorgedrungen ist.

Achtundzwanzigstes Kapitel.

Jupiter und seine Monde.

Vom Kleinsten zum Größten, von den winzigen Taschenplaneten zu dem massenhaftesten Körper des Systems nächst der Sonne selbst übergehend, betreten wir eine neue Welt, die der umfangreichen, lockern, schnell rotierenden, von vielen Monden umkreisten äußern Wandelsterne.

Jupiter ist der erste Himmelskörper, bei dem man eine meßbare Abplattung entdeckt hat (Picard 1673). Nach neuern Untersuchungen von Schur in Göttingen ist in der mittlern Entfernung ☉ ♃ der Äquatordurchmesser gleich 37″,40 und der Polardurchmesser gleich 35″,13. Mit Hilfe der früher (S. 257—259, s. auch 384) geschilderten Methode erhält man diese Werte durch Reduktion der Messungen, und weiterhin erhält man als lineare Werte etwa 14 000 und 13 000 myriom. Die Abplattung $\frac{a-b}{a}$ ist also $= 1 : 16{,}52 = 0{,}06053$. Die beiden Achsen übertreffen die der Erde in den Verhältnissen 11,05 und 10,54, wonach für das Verhältnis der Oberflächen ♃ : ♁ etwa 116, für das der Inhalte 1280 herauskommt. Da nun die Masse des Jupiter die der Erde nur etwa 316mal übertrifft, so ist diese viermal so dicht als jener; auf Wasser bezogen hat Jupiter nur die Dichte 1,4; unter den bekannteren irdischen Stoffen kommen ihm Braunkohle (Dichte 1,22), trockenes Ebenholz (1,26), Kalkmörtel (1,75), Gips (1,86), Bitterspat (1,40), trockenes Pockholz (1,30), feiner trockener Sand (1,52) verhältnismäßig nahe. Die Schwerkraftskonstante ist auf dem Jupiter durchschnittlich 2,5mal so groß wie auf der Erde; ein frei fallender Körper wird also in der ersten Sekunde etwa $4{,}9 \times 2{,}5 = 12$ m zurücklegen. Die bedeutende Abplattung und die schnelle Rotation lassen die Äquatorschwere sehr viel geringer ausfallen als die Polarschwere. Die Theorie der Bewegung der Trabanten giebt der Vermutung Raum, daß die Dichte des Planeten von außen nach innen allmählich zunimmt. Hiernach werden die unserer Beobachtung allein zugänglichen äußersten Schichten vielleicht noch lockerer sein als das Wasser; jedenfalls sind sie beständigem Wechsel der Gestaltung ausgesetzt, und hierin unterscheidet sich Jupiter wesentlich vom Mars. Die Oberflächengebilde Jupiters sind im ganzen recht glänzend, und dieses in Verbindung mit seiner bedeutenden Größe erklärt uns, daß er für

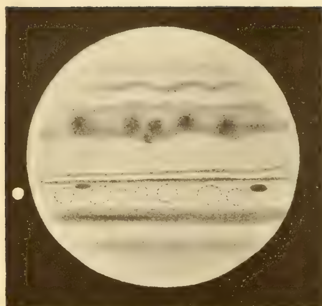
gewöhnlich der hellste Stern nächst Venus ist; nur Mars in den günstigsten Perihel-Oppositionen kann ihn an Lichtstärke übertreffen. Seine Farbe ist für gewöhnliche Augen eine Art Goldgelb.

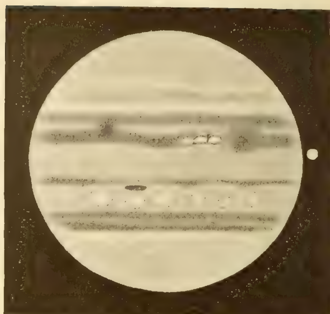
Der Oberflächenzustand Jupiters muß jedenfalls irgendwie die Folgen der nachher zu besprechenden schnellen Rotation erkennen lassen. Es ist bekannt, daß auf der Erde die von der Sonnenwärme hervorgerufenen Bewegungen der Luft- und Wasserhülle mit der Rotation des starren Körpers zu mehr oder weniger verwickelten Bewegungen zusammentreten, unter denen besonders die gegen die Rotation gerichtete ostwestliche Strömung der Winde und Meere im Tropengürtel auffällt. Auf dem Jupiter ist nun die Sonnenstrahlung 27mal schwächer als bei uns, da er 5,2mal so weit von der Sonne absteht. Man muß aber mit der Möglichkeit rechnen, daß ein so großer Körper einen viel bedeutendern Vorrat an Eigenwärme aufbewahrt hat als die Erde, und daß die anscheinend ziemlich leichten und beweglichen Stoffe, woraus er zumal in den obersten Schichten besteht, durch lebhaftes Auf- und Absteigen diesen Vorrat nach und nach ins Weltall hinaustragen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß gerade die obersten, unserem Auge zugänglichen Schichten noch merkbar von der allerdings matten Sonnenstrahlung beeinflußt werden, wodurch nordsüdliche Wanderungen entstehen mögen. Sowohl die aufsteigenden als die meridionalen Bewegungen werden sich mit der raschen Rotation zusammensetzen, und es werden voraussichtlich an vielen Stellen ostwestliche Strömungen entstehen. Ein kleiner Unterschied der Klimate kann angenommen werden, dagegen wird zwischen den Jahreszeiten kaum ein solcher bestehen, denn die Neigung des Rotationsäquators gegen die Bahnebene ist gering. Die Bahnebene ist auch nur wenig gegen die Ekliptik geneigt, wir werden also die Parallelkreise so ziemlich als gerade Linien sehen.

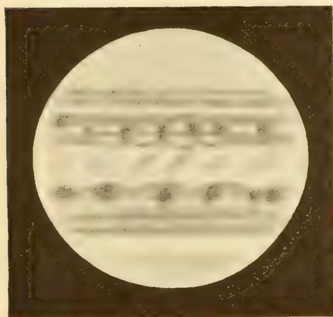
In schwächeren Fernrohren sieht man die stark abgeplattete Jupiterscheibe, in deren Nähe man gewöhnlich den einen oder andern Trabanten ziemlich in ekliptikaler Stellung findet, in ruhigem Lichte glänzen; etwas stärkere Mittel zeigen fast immer dunkle Streifen zu beiden Seiten des Äquators. Ihre Gliederung ist sehr wechselvoll, und wenn irgendwo, so tritt hier der Übelstand auf, daß jeder zeichnende Astronom seine eigene Auffassung und auch seinen eigenen Stil in der Wiedergabe hat; außerdem hängt sehr viel von dem Zustande der Luft und der Güte des Fernrohres ab. Unsere Fig. 134 giebt eine Reihe von Jupiterbildern wieder, die J. Rheden in den Jahren 1896 und 1897 gezeichnet hat; nach seinen Notizen sei dazu folgendes bemerkt:

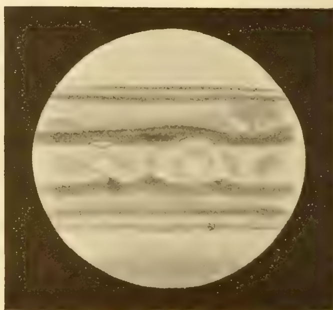
Bild a). Bei dem vorzüglichen Luftzustande waren viele Einzelheiten zu erkennen. Auf der nördlichen (untern!) hellen Zone war ein ovales tiefdunkles Fleckchen erschienen, das fast selbständig in der hellen Zone dastand. Diese trug zudem noch

d.

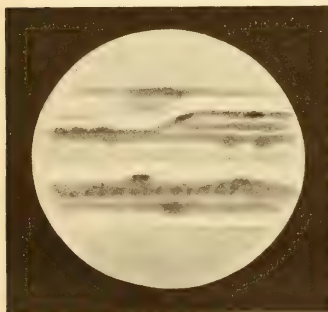

c) 1896, März 23. 8h 20m.

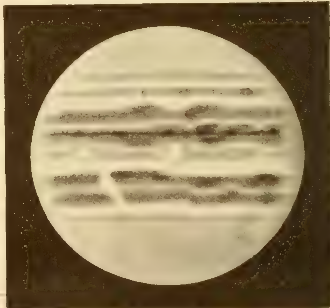

d) 1896, März 25. 9h 35m.


g) 1897, März 9. 10h 15m.


h) 1897, März 11. 9h 15m.

← Nachfolgend.


(l 1897, April 9. 9h 10m.

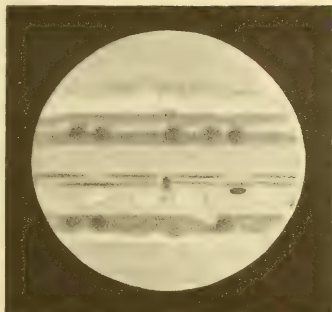

m) 1897, April 17. 8h 50m.

ed.

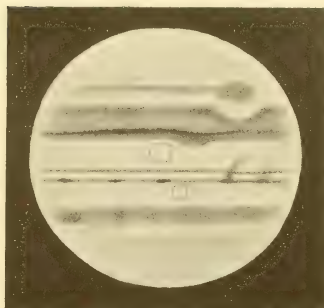
Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 412 ff.

ngen in den Jahren 1896 und 1897,

Trient. — Durchschnittlicher Maßstab: 1,1 mm 1″ an der Sphäre. — k ist im doppelten Maßstab gezeichnet.

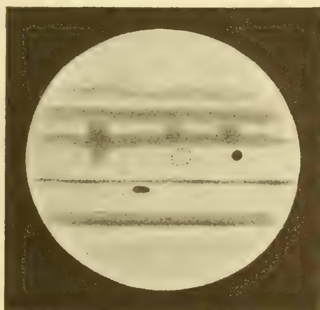


a) 1896, März 6. 7h 55m.

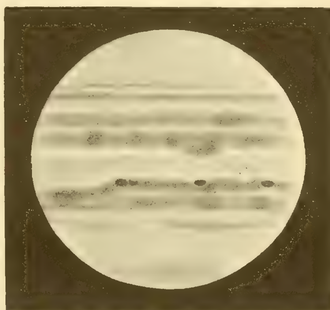


b) 1896, März 12. 7h 45m.

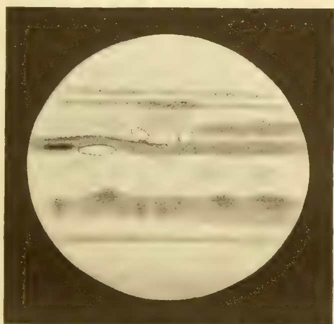
← Voraus-
gehend.



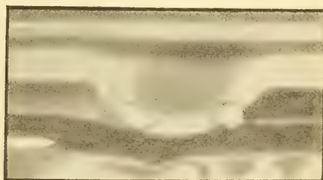
e) 1896, März 25. 11h 10m.



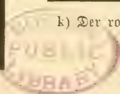
f) 1897, März 8. 10h 10m.



i) 1897, März 11. 10h 10m.



k) Der rote Flecken. 1897, März 11. 10h 10m.



No

Fig. 134. Jupiter nach Beobachtun

gezeichnet von Joseph Rheden am fünfzölligen Äquatorial der Privat-Sternwarte von Dr. Pietro Libera in

vier deutlich erkennbare helle Flecken. Auf der südlichen dunkeln Zone waren mehrere dunkle Fleckchen sichtbar. Das schmale Streifchen südlich davon war deutlich wellenförmig.

c) Links vom Planeten der zweite Mond, der sich anschickt, hinter jenem zu verschwinden. Südstreifen wieder mit hellen, Nordstreifen mit dunkeln Wolken besetzt; hier deutliche Wellenform. Luft vorzüglich.

d) Himmel von einzelnen Cirruswolken zum Teil bedeckt, Luft aber sehr ruhig. Viele Einzelheiten erkennbar. Der erste Mond schickt sich an, über den Planeten wegzuziehen. Die Äquatorialzone erscheint gleichmäßig grau, die südliche dunkle Zone trägt zwei dunkle Flecken und dazwischen drei helle runde Fleckchen. Die nördliche helle Zone zeigt eine Reihe heller Flecke sowie den früher bemerkten dunkeln ovalen Fleck, der heute sehr schwer zu sehen ist.

e) In den $1^1/_2{}^h$ seit der letzten Aufnahme hat sich der erste Mond vor die ♃-Scheibe begeben. Sein Schatten ist sichtbar. Dieses Bild ist in Verbindung mit d) geeignet, uns die Bewegung des Trabanten zu veranschaulichen, welcher in 42^h den Planeten umkreist. Damals hatten Erde und Jupiter die heliocentrischen Längen: ♁ 185°, ♃ 129°. Der nördliche Beobachter hatte also, wie eine kleine Zeichnung sofort lehrt, den ♃ vor sich und die ☉ rechts im Rücken, so daß er den Trabantenschatten auf dem Jupiter links von dem Trabanten selbst erblicken mußte, wenn nicht das Fernrohr die Sache umgekehrt hätte. Es kehrt auch den Sinn der Trabantenbewegung um, die in Wahrheit gegen den Uhrzeiger gerichtet ist. Der Trabant selbst ist nicht sichtbar, weil er sich auf das weiße Wölkchen projiciert.

Zwei weitere Bilder haben wir auf unserem Titelbild in den Farben der Originalzeichnung wiederzugeben versucht, die den zarten Tinten sehr nahe kommen, die Jupiter in einem guten Fernrohre zeigt. In dem obern Bilde sind zwei helle und breite Brücken sehr bemerkenswert, die von der neu aufgetauchten hellen Zone im Norden über den dunkeln Streifen in die Äquatorialzone hinüberreichen. Mehrere helle Flecke fallen auf. Der südliche Äquatorialstreifen zeigt gegen Norden einen dunkeln schmalen Strich, auf dem mehrere Wölkchen ruhen. — Das untere Bild bietet im allgemeinen dasselbe. Auf der Äquatorialzone sind zwei sehr helle Flecke sichtbar, beide in der vorangehenden Hälfte. Das schmale Streifchen, das den südlichen Hauptstreifen durchzieht, erscheint nicht mehr wellenförmig, sondern gerade. Auf der nördlichen Hälfte dieser Zone zeigt sich eine dunkle Linie, die mehrere noch dunklere Wölkchen trägt. Farben: Äquatorialzone rosa gegen grau, die beiden nächsten Zonen nördlich und südlich rotbraun, der lange Fleck im Norden sehr deutlich rotbraun.

f) Himmel leicht dunstig, was aber die Beobachtung fördert. Vier ganz ähnliche schwarze Flecke auf dem Nordstreifen, fast alle in derselben Breite! Die Spaltung dieses Streifens ist sehr deutlich zu erkennen. — Etwas rechts vom Centralmeridian ist der Südstreifen nach Norden leicht ausgebuchtet.

g) Ein ausgezeichnetes Bild! Die Äquatorialzone von hellen und dunkeln Flecken durchsetzt. Südhälfte merklich dunkler als die Nordhälfte. Farbentöne wie früher.

h) und i) zeigen die Rotation sehr deutlich. Das merkwürdigste Gebilde ist der große rote Fleck der Südhalbkugel, der in den siebenziger, achtziger und neunziger Jahren mehrfach lange Zeit sichtbar gewesen und dann wieder verschwunden ist. An ihm und den andern Gebilden sieht man nun deutlich die Verschiebung in der kurzen Zeit von 55^m. Die interessanten Gebilde in der Nähe des roten Fleckes zeigt Bild m) in etwas vergrößertem Maßstabe [1]. Zwischen dem roten Fleck und dem südlichen

---

[1] Mit der teleskopischen Vergrößerung hat der vom Zeichner gewählte Maßstab an sich nichts zu thun. Vgl. Kap. 38.

Äquatorialstreifen sind zwei helle Fleckchen sichtbar, von denen der nachfolgende sogar in den dunkeln Streifen übergreift. Von hier aus zieht sich ein helles schmales Fädchen durch die Mitte des Streifens hin.

Bild l). April 9. 9^h 10^m. Beginn der Beobachtung 8^h 15^m. Himmel war sehr klar; doch lieferte der Planet anfangs kein so gutes Bild, wie ich erwartet hatte; erst nach einiger Zeit besserte sich der Luftzustand so weit, daß ich an das Detailstudium der Planetenoberfläche gehen konnte. Der rote Fleck war schon vor einiger Zeit am Ostrande aufgetaucht, war aber sehr schwierig. Das südliche Äquatorialband war im Osten ziemlich breit, wurde aber nördlich vom roten Fleck schmäler und blieb so bis zum Westrande hinaus. Nur bei ganz guten Momenten erkannte ich, daß sich auch im Westen eine sehr matte Erweiterung des Streifens bemerkbar machte. Hier beobachtete ich auch eine schmale fast schwarze Linie, die mehrere Knoten trug. Im Osten hingegen machten sich mehrere zerstreute dunkle Flecke bemerkbar. Die Äquatorialzone war sehr dunkel und fast nur mehr durch ein helles schmales Streifchen in der Nähe des Nordäquatorialbandes charakterisiert. Letzteres war nach Norden hin gut begrenzt, weniger gut gegen die Äquatorialzone. Hier trug es in der Nähe des Centralmeridians ein ovales dunkles Fleckchen, das aber sehr schwer zu sehen war. Überdies schien auch die Struktur nicht ganz gleichmäßig zu sein. Nördlich von diesem Bande machte sich noch ein mattes Streifchen bemerkbar (sehr schwierig). Von hellen Flecken waren fünf sichtbar, drei auf der Äquatorialzone und zwei (darunter ein sehr lang gestreckter) zwischen dem roten Fleck und dem Südäquatorialband. Das südliche Band neben der Polarzone war in der Gegend des roten Flecks bedeutend breiter und dunkler und trug hier eine seltsame spitzige Ausbuchtung gegen Norden hin. Schluß der Beobachtung 9^h 30^m.

Bild m). April 17. 8^h 50^m. Als ich um 8^h 15^m an die Beobachtung ging, war das Bild des Planeten ziemlich schlecht, so daß ich wenig Detail erkennen konnte; im Verlaufe einer halben Stunde besserte es sich aber ansehnlich. Das Bild war auch heute sehr interessant. Die Äquatorialzone war sehr dunkel mit vielen und großen dunkeln Flecken; nur gegen den Nordrand hin hellte es sich etwas auf. Auf der Südhälfte waren auch zwei helle Flecke sichtbar, einer auf dem Centralmeridian, der andere 45° weiter westlich. Das Südäquatorialband war sehr detailliert. Deutlich konnte ich erkennen, daß es doppelt und mit vielen Flecken besetzt war, von denen die meisten und dunkelsten auf der Nordhälfte lagen. Das helle Streifchen in der Mitte sowie die Ränder waren wellenförmig. Südlich vom Bande bemerkte ich noch zwei helle Streifen, die durch ein dunkles, etwas wolkiges Band voneinander getrennt waren. Der nördliche war breiter und auffallender. Sehr schön war das Nord-Äquatorialband. Es war durchweg doppelt und trug mehrere Flecke, darunter zwei besonders dunkle in der Nähe des Centralmeridians. Etwas weiter westlich war es schräg durchbrochen, was sich gerade ausnahm, als ob ein Zweig der Äquatorialzone das Band quer durchsetze. Weiter im Norden konnte ich noch ein dunkles Streifchen erkennen, welches aber ziemlich schwierig war. Der Ostrand des Planeten war bedeutend dunkler als der Westrand (Phase). Von Farben notierte ich: Nord- und Süd-Äquatorialband rotbraun, Äquatorialzone rötlich-dunkel. Nord- und Süd-Äquatorialband waren gleich breit. Schluß der Beobachtung 9^h 15^m.

Um die große Verschiedenheit in der Auffassung der Jupiteroberfläche durch die einzelnen Beobachter zu zeigen, geben wir noch in Fig. 135 und 136 zwei ältere Bilder wieder. Zu Fig. 136 ist übrigens zu bemerken, daß der große rote Fleck, den Lohse deutlich kahnförmig und zugespitzt sah, damals in der That ein viel auffallenderes Gebilde gewesen ist als später.

Die Rotationszeit des Jupiter läßt sich durchaus nicht so genau bestimmen wie die des Mars. Bei diesem lassen sich Bruchteile einer Sekunde verbürgen, beim Jupiter ist nicht einmal die Minute sicher, indem die Angaben zwischen $9^h\ 55^m$ und $9^h\ 57^m$ schwanken. Damit kommt man am Äquator des Planeten auf eine lineare Geschwindigkeit von 12,6 km in der Sekunde, merkwürdigerweise ziemlich genau übereinstimmend mit der linearen Umlaufsgeschwindigkeit.

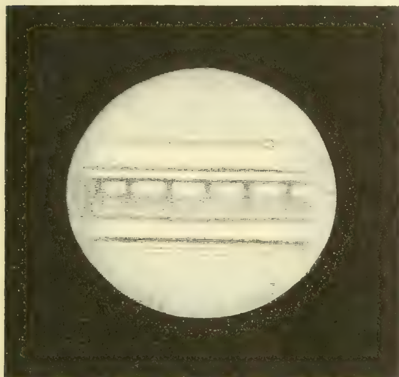


Fig. 135. Jupiter 1870, Jan. 31. ($7^1/_2{}^h$ Greenwich). (Nach Gledhill.)

Die erhaltenen Unterschiede rühren anscheinend hauptsächlich daher, daß die Beobachter unter den stark veränderlichen Gebilden der Planetenfläche solche von relativer Beständigkeit zur Bestimmung der Rotationszeit ausgewählt und dann Werte erhalten haben, die durch die verschiedenen Breitenlagen und die kleinen Eigenbewegungen dieser Gebilde, hie und da auch wohl durch Verwechslungen, entstellt waren. Übrigens hat schon Cassini im Jahre 1665 die Periode zu $9^h\ 56^m$ bestimmt, und um diesen Wert schwanken auch die neuesten Angaben. Eine Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit mit der Annäherung an den Äquator ist zwar angedeutet, sie vollzieht sich aber wohl nicht mit der Regelmäßigkeit wie auf der Sonne. Man kann die Erscheinung für beide Himmelskörper auf ähnliche Weise zu deuten versuchen oder sie auch als eine Art von Antipassatströmung in den Kalmengürteln des Planeten auffassen, da unserer Wahrnehmung wohl nur die äußersten Schichten zugänglich sind. — So ist denn auch nur der allgemeine Typus des Planetenbildes einigermaßen beständig; die äquatoriale Beschleunigung und das beständige Werden und Vergehen von hellen und

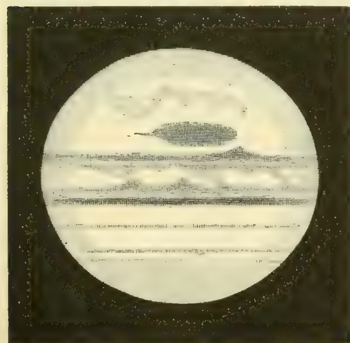


Fig. 136. Jupiter 1880, Aug. 31. ($14^1/_2{}^h$ Berlin). (Nach Lohse.)

schwarzen Streifen oder Flecken, das gleichfalls an die Sonne erinnert, verändert das Antlitz des gewaltigen Himmelskörpers fortwährend.

Die Thatsache der zeitweiligen Beschattung des Planeten durch die Monde und umgekehrt lehrt uns, daß alle diese Körper ihr Licht von der Sonne erhalten; die Spektralbeobachtung bestätigt das. Daneben liegen Anzeichen vor für eine schwache eigene Lichtentwickelung; man kann darüber jedoch noch nicht abschließend urteilen. Wenn der große Fleck in den Zeiten seiner besten Sichtbarkeit starke Abweichungen im spektralen Verhalten zeigte, so ist man noch nicht gezwungen, diese durch die Annahme von eigenem Licht zu erklären; es genügt die Vorstellung, daß das Sonnenlicht durch eine große mit absorbierendem Gase erfüllte Höhlung auf tiefer liegende Wolkenschichten drang, von denen es zurückgeworfen wurde.

Bei der angegebenen Rotationsgeschwindigkeit verschieben sich die einzelnen Gebilde vom nachfolgenden Rande nach dem Centralmeridian und von diesem zum vorausgehenden Rande in je $2^1/_2{}^h$, und diese Zeit verkürzt sich noch etwas dadurch, daß an den Rändern, von der orthographischen Verzerrung abgesehen, die Gebilde auch unter einer erhöhten Absorption zu leiden haben. Es ist darum notwendig, ziemlich schnell zu zeichnen, wenn man verbürgen will, daß Jupiter zu einer bestimmten Zeit einen bestimmten Anblick geboten habe. Der naheliegende Gedanke, den hellen Planeten zu photographieren, ist mehrfach ausgeführt worden; doch hat man vorläufig noch so lange zu belichten, daß alle Gebilde durch die schnelle Rotation ein wenig verwischt werden. Fig. 137 giebt den Anblick des Planeten nach drei Photographien wieder, die im Oktober 1891 auf der vatikanischen Sternwarte aufgenommen worden sind. Trotz der langen Belichtungszeit von 40^m sind doch einzelne uns von den Zeichnungen her vertraute Dinge gut zu sehen: so auf zwei Bildern der rote Fleck und die ihm entsprechende Ausbiegung des Südstreifens, auf allen dreien die Parallelstreifen überhaupt sowie die düstere Färbung der Polarkappen.

* * *

Am 7. und 13. Januar 1610 entdeckte Galilei zu Padua mit dem neuerfundenen Fernrohre die vier großen Trabanten (Monde, Satelliten) des Jupiter. Er nannte sie die sidera Medicea zu Ehren des bekannten Herrscherhauses; später hat man die Namen Io, Europa, Ganymedes, Callisto (vom innersten bis zum äußersten Monde) aufzubringen versucht; sie haben sich aber nicht recht einzubürgern gewußt, und das ist gut, denn wenn man sich sonst die altklassische Götterlehre am Himmel gern gefallen läßt, so sind doch die Abenteuer, woran jene vier Namen erinnern, der obersten Gottheit so unwürdig, daß ihre Verewigung im Planetensystem nicht

nötig erscheint. Die großen Trabanten werden jetzt gewöhnlich mit den Nummern I bis IV vom innersten an bezeichnet.

Seit der Entdeckung der Trabanten wird ab und zu behauptet, sie seien auch einem scharfen unbewaffneten Auge sichtbar. Thatsächlich sind sie, wie ein von *Arago* angestellter Versuch beweist, in einem Fernrohre ohne jede Vergrößerung, das also nur den Vorteil der größern Bestimmtheit bietet, zu sehen. Im übrigen sind alle Nachrichten von angeblicher Sichtbarkeit selbst des III. Mondes für freie Augen mit größter Vorsicht aufzunehmen. Es müßte denn doch wunderbar zugegangen sein, wenn die Monde den scharf beobachtenden Völkern des Altertums und gar den Arabern des Mittelalters unter so günstigen Luftbedingungen gänzlich entgangen sein sollten. Zudem spricht gegen die Sichtbarkeit das gewichtige Zeugnis von *Heis*, der sehr enge Sternpaare ohne Schwierigkeit auflöste, die Sterne als Punkte ohne jede Strahlenbildung sah und in den Plejaden elf Sterne wahrnahm, auch häufig die Planeten ♀, ♃ und ☿ bei hellem Tage gesehen hat, aber niemals mit freiem Auge einen Jupitersmond wahrzunehmen vermochte. Es ist nicht die geringe Helligkeit der Monde an sich, die daran schuld ist. Sie machen nämlich im Fernrohr den Eindruck von Sternen der 5. Größe, nur IV geht etwas unter die 6. Größe hinab, würde also auch unter gewöhnlichen Umständen nur einem sehr scharfen Auge sichtbar sein. Die Nähe des glänzenden Planeten *überstrahlt* auf der Netzhaut die schwächern Eindrücke, welche die Monde machen. — Nachstehende Zusammenstellung giebt die für die Bewegung der Monde wichtigsten Zahlen:

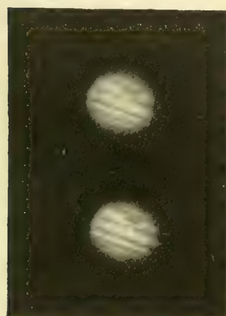
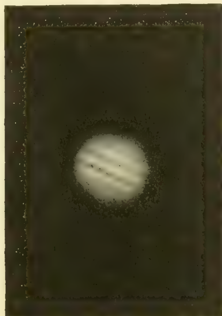



Fig. 137. Jupiter nach vatikanischen Photographien.

Trabant.	Siderischer Umlauf.	Synodischer Umlauf.	Große Bahnhalbachse in Teilen des Äquatorradius des ♃.	in Sekunden.	in myriom.
I	$1^d\ 18^h\ 27^m,6$	$1^d\ 18^h\ 28^m\ 35^s,945 = 1^d,76986048$	5,9	112	42 200
II	3 13 13,7	3 13 17 53,735 = 3,55409416	9,5	177	66 700
III	7 3 42,6	7 3 59 35,854 = 7,16638720	15,1	284	107 100
IV	16 16 32,2	16 18 5 6,928 = 16,75355241	26,5	499	188 100

Trabant.	Excentricität.	Neigung gegen die ♃-Bahn.	Durchmesser in Sekunden.	Durchmesser in myriom.	Masse von Trabant: ♃
I	0,00226	3° 5′	1″,05	396	0,0000169
II	0,00121	3 4	0,87	328	0,0000232
III	0,00133	3 1	1,52	573	0,0000884
IV	0,00695	2 41	1,43	539	0,0000425

Bewegliche Oberflächengebilde auf den Monden, woraus man mit Sicherheit auf deren Rotationszeiten schließen könnte, sind bisher nicht beobachtet worden. Eine Vermutung über die Gleichheit jener Perioden mit den Umlaufszeiten wird im nächsten Kapitel (S. 434—436) besprochen werden.

Die in Winkelsekunden gegebenen Größen beziehen sich auf die mittlere Entfernung ☉ ♃, werden also für uns in der Opposition ein wenig größer. Die mittlern synodischen, d. h. von der Sonne aus gerechneten Umlaufszeiten geben wir genauer als die siderischen, weil sie für den Beobachter wichtiger sind. Die siderischen bestätigen in Verbindung mit den Bahnhalbachsen das dritte Keplersche Gesetz. Die Verfrühungen und Verspätungen des Eintreffens der Erscheinungen im Jupitersystem gegen die Durchschnittszeiten sind im 16. Kapitel (S. 178—179) eingehender besprochen worden.

Für April 1899, in den die nächste Opposition des Jupiter (April 25. 8^h M. E. Z.) fällt, geben wir in Fig. 138 die tägliche Ansicht des Jupitersystems im umkehrenden Fernrohre für 14^h M. E. Z. nach der Vorausberechnung und bildlichen Darstellung des Nautical Almanac. Das Schema für April 7. bedeutet z. B., daß IV augenblicklich rechts vom ♃ steht und zugleich nach rechts läuft; das zweite wird durch die Stellung der Zahl angedeutet. Da für ein Teleskop auf der nördlichen Halbkugel die Trabanten mit dem Zeiger laufen, so steht IV zur Zeit hinter dem ♃. Dagegen ist III vor dem Planeten, da er nach links geht; die große Nähe ist natürlich nur scheinbar, der Satellit ist uns fast um seinen ganzen Bahnradius näher als der Planet. Ist für die Zeit der Vorausberechnung ein Trabant auf der ♃-Scheibe zu finden, dann wird das, wie April 4. beim II. Monde, links auf dem Bilde angedeutet; der Lauf geht dann natürlich immer nach links. Ein Trabant dagegen, der hinter dem Planeten oder auch in dessen Schatten steht, für uns also jedenfalls unsichtbar ist, wird an den rechten Rand der Figur verwiesen, wie April 13. Trabant I und April 25. Trabant III.

Da die großen Jupitersmonde schon in einem ganz schwachen Fernrohr, z. B. einem guten Opernglase oder dem Fernrohr eines kleinen Feldmesser-Theodoliten sichtbar sind, so wird es dem Leser erwünscht sein, ihre Stellungen auch für andere Zeiten vorausberechnen zu können. Das gelingt, wenn man die schwach excentrischen Bahnen der Einfachheit halber als Kreise ansieht, leicht mit Hilfe der oben angegebenen synodischen Umlaufszeiten.

Man wird zweckmäßig die decimalen Werte benutzen und die Tafel der julianischen Tage (S. 128) oder auch die der Tage im Jahre (S. 129) zu Rate ziehen [1].

Die drei ersten Monde werden bei jedem synodischen Umlaufe total verfinstert, eine Folge ihrer geringen Neigungen gegen die Bahnebene des

Tag.	Westen.		Osten.
1.	4. 3. 2·	○	1.
2.	4. ·3 ·1 ·2	○	
3.	·4 .3	○	1· 2.
4.	○ 2· .4 ·1	○	.3
5.	.4 ·2	₁○.	.3
6.	.4	○	·1 ·2 3.
7.	1·	○	₃:⁴ 2·
8.	3. 2·	○	·1 .4
9.	·3 ·₁·²	○	.4
10.	·3	○	1. ·2 .4
11.	·1	₂○.	.3 4.
12.	·2	○	1· .3 4.
13.		○	·2 3. 4. ·1 ●
14.	1·	○	3. 2·1·
15.	3. 2·	○ 4·	·1
16.	·3 4. ·2 1·	○	
17.	4. .3	○	1. ·2
18.	4. ·1	○	·3 2·
19.	·4 ·2	○	1· .3
20.	.4 ·1	○	·2 3.
21.	○ 1· .4	○	3. 2·
22.	.4 3. 2·	○	·1
23.	3. ·2 1· ·4	○	
24.	.3	○	1. ·4 ·2
25.	·1	○	2· .4 .3 ●
26.	2·	○	1· .3 .4
27.	·1	○	3. 4. ·2 ●
28.		₁○.	3. 2. 4.
29.	3· 2·	○	·1 4·
30.	3. ·2 1·	○	4.

Fig. 138. Tägliche Ansicht des Jupitersystems.

Planeten und ihres relativ geringen Abstandes von diesem. Nur der IV. Mond erleidet manchmal bloß partielle Verfinsterungen, und zuweilen gelingt es ihm sogar, nördlich oder südlich vom Schatten durchzuschlüpfen. Bei seiner großen Entfernung macht sich nämlich der Neigungswinkel in

[1] Geocentrische obere Konjunktionen der einzelnen Monde mit dem ♃ finden statt im Januar 1899: 2d,77 für I; 4d,00 II; 1d,15 III; 13d,87 IV; alles nach M. E. Z.

größerem Maße geltend, und ein wenig trägt auch die Verjüngung des Schattenkegels in diesem Abstande bei.

Ein Beobachter auf der Sonne würde den Schatten des Jupiter offenbar nicht sehen können, also auch keine Verfinsterung der Monde; er sähe diese nur hinter dem hellen Planeten verschwinden und neben ihm wieder herauskommen. Dasselbe wird für einen Beobachter auf der Linie ☉ ♃ gelten, für uns also in den Konjunktionen und Oppositionen. In diesen Stellungen können wir also die Trabanten weder in den Schatten eintreten noch aus ihm austreten sehen. Nach der Konjunktion dreht sich für ein Fernrohr auf der nördlichen Erdhalbkugel der ♃-Schattenkegel nach links, wie man durch eine Zeichnung sofort feststellen kann; wir sehen dann die Eintritte der Monde in den Schatten, und so in der ganzen ersten Hälfte des synodischen ♃-Jahres, kurz nach der Konjunktion bis kurz vor der Opposition. Nach der Opposition dreht sich der Schattenkegel nach rechts, und wir sehen nun die Austritte. Indessen läßt sich zeigen, daß wenigstens um die Zeit der Quadraturen der Schattenkegel so weit zur Seite gedreht ist, daß wir vor der Opposition von den beiden äußern Monden auch noch die Austritte beobachten können, und nach der Opposition auch die Eintritte. Von den beiden innern Monden kann man dagegen stets nur eine Schattenberührung wahrnehmen.

Mit Hilfe der für die Umlaufszeiten und Bahnhalbachsen angegebenen Zahlen findet man, daß die Monde in einer Sekunde durchschnittlich 1,73; 1,38; 1,08 und 0,82 myriom zurücklegen, also die beiden innern Monde einen längern, die äußern einen kürzern Weg als der Planet in derselben Zeit um die Sonne beschreibt (1,26 myriom). Es ziehen also, heliocentrisch betrachtet, I und II Schlingenlinien, III und IV Schlangenlinien (vgl. S. 380). Die für die Durchmesser der Monde angegebenen Zahlen lehren in Verbindung mit den Geschwindigkeiten[1], daß die beiden innern Monde vom Beginn einer Finsternis bis zum Beginne der Totalität etwa 4^m brauchen, die beiden äußern etwa 9 und 10^m. Da nun auch noch der Halbschatten die Schärfe der Beobachtung hindert, so sieht man, daß die Eintritte in den Schatten oder die Austritte aus ihm zeitlich nicht sehr genau zu beobachten sind. Schon Galilei hatte den Einfall, diese Erscheinungen zur Längenbestimmung auf See zu verwenden, und er hat darüber mit den Generalstaaten sowie mit Spanien verhandelt. Beobachtet man einen Trabantenaustritt um 12^h der Ortszeit des Schiffes, die sich, wenn man durch Circumpolarsterne die Breite bestimmt hat, etwa aus der Sonnenhöhe er-

---

[1] Man hat für den Eintritt in den Schatten eigentlich die synodischen Umlaufszeiten der Rechnung zu Grunde zu legen. Der Unterschied gegen die siderischen Zeiten ist aber hier bedeutungslos.

giebt, und hat die Vorausberechnung gezeigt, daß der Trabant um 0^h Greenwicher Zeit austreten mußte, dann weiß man, daß sich das Schiff auf dem 180. Meridian befindet. Aber die angegebene Unsicherheit verhindert eine genauere Bestimmung, und so benutzt man auf See zur Längenbestimmung lieber die Abstände des Erdmondes von den Fixsternen. Der ganze Vorgang der Verfinsterung hat für die vier Monde der Reihe nach im Maximum folgende Zeitdauern: $2^h\,15^m\,44^s$; $2^h\,52^m\,4^s$; $3^h\,30^m\,40^s$; $4^h\,44^m\,50^s$.

Die Vorübergänge der Trabanten vor der hellen Scheibe des Planeten haben zunächst gelehrt, daß jene im ganzen eine etwas geringere Albedo haben, d. h. daß sie das Licht der Sonne in geringerem Verhältnisse zurückwerfen. Der IV. Mond projiciert sich beim Ein- und Austritte hell auf dem dunkeln Rand, während des größten Teiles des Vorüberganges erscheint aber auch er dunkel auf hellem Grunde, und in zwei mittlern Stellungen, die eine Zeitlang anhalten, ist er unsichtbar. Die Projektion auf dunkle Streifen kann die Erscheinungen etwas ändern. Den III. Mond glaubten einige in den Durchgängen doppelt gesehen zu haben; Barnard erklärt das Schauspiel wohl richtiger durch die Annahme, daß dieser große Himmelskörper, gleich dem Jupiter, matte Polarkappen und eine hellere heiße Zone besitzt.

Die Durchmesserbestimmungen für die vier Monde lassen an Zuverlässigkeit noch zu wünschen. Ihre Massen, die gegenüber der Masse des Centralkörpers äußerst klein sind, hat man aus den gegenseitigen Störungen zu bestimmen versucht. Nennenswerte Gezeiten können die Monde des Jupiter so wenig hervorrufen wie die des Mars. Dagegen wird bei dem großen Durchmesser des Jupiter die Sonnenflut trotz des bedeutenden Abstandes nicht ganz zu vernachlässigen sein. Bei der nicht ganz kleinen Excentricität der Jupiterbahn (0,048) muß die Flut im Perihel stärker ausfallen als im Aphel, und es ist die Vermutung, daß sich diese Periode irgendwie in den Erscheinungen auf der Oberfläche des Planeten aussprechen wird, nicht gerade abzuweisen, auch bei so schneller Rotation nicht. Jedenfalls wird die Sonne auf dem Jupiter eher merkbare Gezeiten bewirken, als er auf der Sonne (vgl. S. 338—339).

Die drei innern großen Trabanten sind durch ein gemeinsames Bewegungsgesetz verknüpft. Betrachtet man nämlich ihre in nachstehender Übersicht angegebenen mittlern täglichen siderischen Bewegungen,

Trabant	I	II	III	IV
Siderische Umlaufszeit . .	1^d,769	3,551	7,155	16,689
Mittlere tägliche Bewegung	203^0,489	101,375	50,318	21,571

und nennt man die Werte für die drei ersten Monde der Reihe nach m_1, m_2, m_3, so kann man leicht die Richtigkeit folgender Formel nachweisen:

$$m_1 - 3\,m_2 + 2\,m_3 = 203{,}489 - 3 \cdot 101{,}375 + 2 \cdot 50{,}318 = 0.$$

Mit andern Worten: Vermindert man die mittlere Bewegung des ersten Mondes um den dreifachen Betrag der mittlern Bewegung des zweiten und addiert das Doppelte der mittlern Bewegung des dritten, so erhält man 0. Für die mittlern jovicentrischen (vom ♃ aus gerechneten[1]) Längen l_1, l_2 und l_3 der Monde findet die Gleichung

$$l_1 - 3\,l_2 + 2\,l_3 = 180^0$$

statt, deren beständiges Stattfinden natürlich schon durch die Gleichung der Bewegungen verbürgt wird, wenn jene zweite Gleichung auch nur ein einziges Mal als richtig festgestellt ist[1]. Von den mittlern Längen können bei den geringen Excentricitäten die wahren Längen immer nur wenig abweichen. Laplace, dem man die Auffindung dieser Gesetze verdankt, hat rechnerisch nachgewiesen, daß sie, allen gegenseitigen Störungen der Monde zum Trotze, immer erhalten bleiben werden, und daß, wenn sie in frühern Zeiten nur ungefähr richtig gewesen sein sollten, die Störungen selbst darauf hingearbeitet hätten, sie ganz genau gültig zu machen.

Sollen alle drei innern Monde gleichzeitig verfinstert werden, so müssen ihre wahren Längen und nahezu auch die mittlern einander gleich sein, also $l_1 = l_2 = l_3$, woraus sich

$$l_1 - 3\,l_2 + 2\,l_3 = 0$$

ergiebt. Da diese Gleichung der oben gegebenen widerspricht, so können niemals die drei innern Monde gleichzeitig verfinstert werden; ebensowenig können sie alle drei rechts oder links in größter Elongation vom ♃ oder auch mitten vor ihm stehen.

Trotz dieses Gesetzes sind doch in der Stellung der Trabanten zum Centralkörper die verschiedensten Kombinationen möglich. Hat man die jovicentrischen Längen aller vier Monde für einen bestimmten Augenblick aufgezeichnet, dann kann man 25 Jahre warten, bis mit großer Genauigkeit wieder dieselbe Stellung stattfindet. Es ist nämlich, wenn die genauen Werte der siderischen Umlaufszeiten mit u_1, u_2, u_3, u_4 bezeichnet werden,

$$5189\;u_1 = 9180^d{,}05$$
$$2585\;u_2 = 9179^d{,}80$$
$$1283\;u_3 = 9179^d{,}29$$
$$550\;u_4 = 9178^d{,}96.$$

Hieraus ergiebt sich, daß nach 5189 Umläufen des ersten Mondes auch die andern drei jovicentrisch ziemlich genau wieder auf der alten Stelle sind. Aber auch geocentrisch, da 23 synodische Jupiterumläufe

[1] Denn die mittlern Bewegungen sind ja die Zuwüchse der mittlern Längen; war heute $l_1 - 3\,l_2 + 2\,l_3 = 180^0$, so haben wir morgen etwa $\lambda_1 - 3\,\lambda_2 + 2\,\lambda_3 = (l_1 + m_1) - 3\;(l_2 + m_2) + 2\;(l_3 + m_3) = (l_1 - 3\,l_2 + 2\,l_3) + (m_1 - 3\,m_2 + 2\,m_3) = 180^0 + 0 = 180^0$, und ähnlich für alle folgenden Tage.

$= 23 \times (365^1/_4{}^d + 33^5/_8{}^d) = 9174^d$ sind, also nach der angegebenen Zeit von 9180^d nach einer Opposition die Erde zum Jupiter ungefähr auch die frühere Stellung wieder einnimmt [1].

* * *

Im Sonnensystem folgen auf die mittelgroßen Planeten ☿, ♀, ♁, ♂ und die sehr kleinen Asteroiden zuletzt die sehr großen Planeten ♃, ♄, ♅ und ♆. Merkwürdigerweise hat auch Jupiter mindestens einen sehr kleinen Begleiter, der ihm erheblich näher steht als die großen ältern Monde. Dieser innerste Jupitermond wurde am 9. und 10. September 1892 von Barnard am sechsunddreißigzölligen Fernrohr des Lick Observatory aufgefunden; er ist am schwierigsten zu beobachten unter allen bis jetzt bekannten Monden im Planetensystem. Nur in Fernrohren ersten Ranges überhaupt sichtbar, ist er nur vom Entdecker sowie von H. Struve in Pulkowa mit Meßwerkzeugen studiert worden. Er erscheint als ein Fixstern der 13. Größe, würde also selbst dann nur in kräftigen Instrumenten sichtbar sein, wenn er nicht so nahe bei dem glänzenden Centralkörper stände. Dieser Übelstand erschwert das Sehen des Trabanten und noch mehr das Messen seiner Abstände von der Planetenscheibe. Giebt man ihm dieselbe Albedo wie dem Jupiter, so muß er einen Durchmesser von etwa 160 km haben; er scheint also wohl die Marsmonde, die besser als er sichtbar sind, an Größe merklich zu übertreffen, hinter seinen großen Brüdern jedoch sehr zurückzubleiben. Um so schneller ist seine Bewegung, die ihn (nach Fritz Cohns Berechnung der amerikanischen und russischen Beobachtungsreihen, Astr. Nachr. 3404) in $11^h\ 57^m\ 22^s,68$ einmal um den Jupiter führt, von dessen Centrum er nur $48'',065$ oder 2,57 ♃-Radien oder etwa 181 000 km absteht. Die Bahnexcentricität ist $= 0,00501$, und da die Bahn ein wenig gegen den Äquator des Planeten geneigt ist, ruft die störende Anziehung des Äquatorialwulstes einen Perihelumlauf hervor, wie im System Erde-Mond, jedoch einen viel schnellern wegen der großen Nähe des massenhaften und stark abgeplatteten Himmelskörpers. Die Apsidenlinie des Barnardschen Mondes dreht sich im Jahre um $2 \cdot 360^0 + 191^0,7 = 911^0,7$. Aus der beobachteten Wanderung kann man rückwärts auf die Abplattung

[1] Die ♁ steht dann wieder zwischen ☉ und ♃, man kann sich also den Beobachter auf der Sonne stehend denken. Allerdings hat sich ♃ um $(9174 - 2 \cdot 4332,6) \cdot \frac{360^0}{4332,6} = \frac{509 \cdot 360^0}{4332,6}$ gegen den solaren Beobachter gedreht, da seine Umlaufszeit $4332^d,6$ beträgt. Das sind aber, wie man sieht, nur einige 40 Grade, die zudem in der Oppositionszeit durch die Bewegung der Erde von 9174^d bis 9180^d teilweise wieder ausgeglichen werden. Man beachte, daß die siderischen Umlaufszeiten auf unendlich ferne Punkte zu beziehen sind. — Weniger genau ist eine kürzere Periode von 435 bis 437^d für die Umläufe der vier Satelliten.

schließen unter der Annahme einer gleichmäßigen Massenverteilung in dem Jupiter-Sphäroide. Man findet dann (wieder nach Fr. Cohn) einen etwas größern Wert für die Abplattung, als durch Messung der Durchmesser der Scheibe herauskommt. Die Rechnung bestätigt also im allgemeinen die Messung, läßt aber erkennen, daß die Annahme einer gleichmäßigen Massenverteilung ungenau ist.

Wir sagten, daß Jupiter außer den großen Monden mindestens noch einen sehr kleinen habe. In der That ist es ja möglich, daß noch kleinere da sind, die sich der Beobachtung bisher zu entziehen vermocht haben. Die Ähnlichkeit des Jupitersystems mit dem der Sonne würde dadurch noch größer werden. In der Saturnswelt tritt eine solche Ähnlichkeit, wie sich ergeben wird, gleichfalls, und zwar noch deutlicher hervor.

Für den Barnardschen Mond macht die Lichtverspätung relativ weit mehr aus als für die großen Trabanten. In mittlerer Opposition z. B. braucht das Licht aus dem ♃-System etwa 2100^s, um bis zur Erde zu kommen; das ist von der Umlaufszeit des Möndchens fast der 20. Teil, so daß es inzwischen bereits um etwa 18^0 weiter gerückt ist. Ähnliches gilt für die noch etwas schnellere Rotation des Jupiter.

Neunundzwanzigstes Kapitel.

Die Welt des Saturn.

Die Umlaufszeit des Saturn ist gleich $10759^d,220$ oder $= 29^a\,166^d,970$, wo a das julianische Jahr von $365^d,25$ bezeichnet. Die tägliche Bewegung ist $= 120'',5923$, die mittlere hel. Länge für 1850, Jan. 1. 0^h Paris ist $14^0\,50'\,40'',6$. Hiernach kann man unter der freilich merkbar ungenauen Annahme einer Kreisbahn die heliocentrischen Örter für eine beliebige Zeit vorausberechnen. Ihnen entsprechen die geocentrischen in den Konjunktionen und Oppositionen, während sonst, zumal in den Quadraturen, Unterschiede auftreten. Diese sind nicht sehr groß, wie man unter Berücksichtigung des Verhältnisses der mittlern Entfernungen ☉ ♄ : ☉ ♁ = 9,53885 durch Betrachtung des Dreieckes ☉ ♁ ♄ leicht feststellt. Linear ist die große Bahnhalbachse des ♄ gleich 143 Millionen myriom.

Die Excentricität ist[1] gleich $0,055996 - 0,000002422\,(t - 1850)$. Die große Störung, die früher (S. 231—232) besprochen worden ist, ändert den Ort des Planeten auch noch. Das Perihel liegt in der Länge $90^0\,6'\,12'',0 + 76'',015\,(t - 1850)$; für den aufsteigenden Knoten hat man

[1] Über die nachfolgenden Bezeichnungen vgl. S. 250. Die Elemente sind nach Leverrier gegeben. Die Veränderlichkeit beruht hauptsächlich auf den Störungen durch Jupiter.

112° 21′ 44″0 + 31″,427 (t — 1850) und für die Neigung 2° 29′ 28″,1 — 0″,089 (t — 1850). Die Änderungen der letzten drei Elemente sind teils reell, teils enthalten sie die Präcession.

Das synodische Saturnjahr ist im Mittel gleich $1^a\ 12^d\ 20^h$. Die nächsten Oppositionen finden 1898, Mai 29. 23^h M. E. Z. 1899, Juni 11. 3^h und 1900, Juni 23. 6^h M. E. Z. statt.

Wir haben die Elemente hier so eingehend mitgeteilt, weil das für die Betrachtung des im Planetensystem einzig dastehenden Ringgebildes des Saturn nützlich ist.

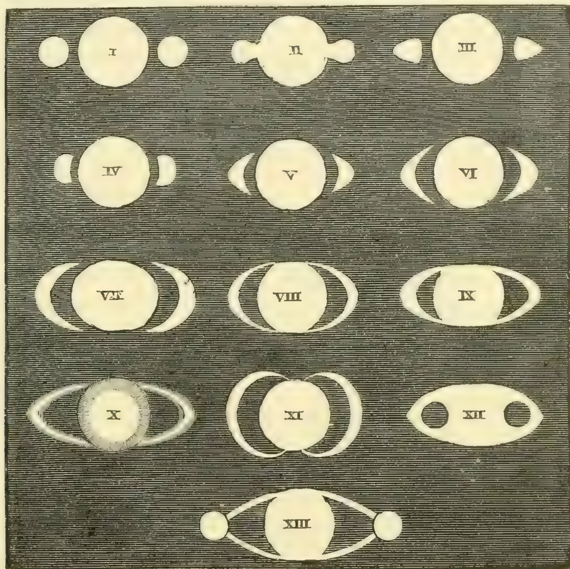


Fig. 139. Saturn nach den Beobachtern in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts.

In dem für die Astronomie so wichtigen Jahre 1610 richtete Galilei das neu erfundene Fernrohr auch auf den Saturn. Er glaubte diesen Planeten dreifach zu sehen und gab die vermeintliche Entdeckung in einem Anagramm, dessen Lösung heißt: Altissimum[1] planetam tergeminum observavi. Später haben sich noch viele Beobachter um die Feststellung der wahren Gestalt Saturns bemüht. Unsere Fig. 139 giebt deren Zeichnungen wieder nach der Zusammenstellung in dem Systema Saturnium

[1] Den äußersten; ♅ und ♆ waren noch nicht entdeckt.

von Huygens. Dieser tiefe Denker und scharfe Beobachter war im Jahre 1655 so glücklich, die wahre Gestalt zu ermitteln; er legte seine Auffassung in klassischer Kürze in dem (gleichfalls zuerst anagrammatisch verkündeten) Satze nieder: Anulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato; von einem Ringe wird er umgeben, der dünn und flach, nirgendwo mit ihm verwachsen, gegen die Ekliptik geneigt ist.

Die Ebene des dünnen Saturnsringes bleibt beständig einer festen Ebene parallel, die wir durch das Centrum der Sonne gelegt denken können. Ihre Neigung gegen die Saturnbahn beträgt 26° 49′,1, und der aufsteigende Knoten des Ringes hat die Länge 171° 32′. Hat also der Planet diese heliocentrische Länge, dann fällt ein Durchmesser des Ringes in die Linie ☉ ♄, und die nördliche Hälfte des Ringes schreitet in der Bewegung voran. Diese Stellung ist in unserer Fig. 140 mit C bezeichnet; wir denken uns hier den Beobachter nördlich und seitwärts von der Saturnbahn, die deshalb perspektivisch verzerrt ist. Da in dieser Stellung die Ringebene durch die Sonne geht, so wird ein solarer Beobachter von dem Ringe nur die scharfe Kante sehen. Nach 1/4 Umlaufszeit, also nach knapp 7 1/2 Jahren, ist der Planet in D; der Beobachter sieht die Südhälfte des zur Ellipse verzerrten Kreisringes. In A ist der Ring wieder lineal, in B sieht man die Nordhälfte am besten. Da die Bahnebenen der Erde und des Saturn ein wenig gegeneinander geneigt sind, so haben Knoten und Neigung der Ringebene, auf die Ekliptik oder Erdbahnebene bezogen, etwas andere Werte als in Bezug auf die Saturnbahnebene, nämlich 167° 31′ 52″,0 + 46″,462 (t — 1850) und 28° 10′ 27″,2 — 0″,380 × (t — 1850), wo die Änderung hauptsächlich von der Präcession herrührt. Die Richtigkeit der umgerechneten Zahlen im allgemeinen wird der geübtere Leser durch Betrachtung eines sphärischen Dreieckes nachweisen können. Für 1900 erhält man 168° 10′ 35″,1 als Knoten der Ringebene auf der Ekliptik.

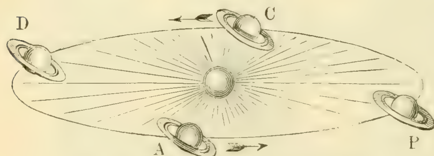


Fig. 140. Lauf des Saturn um die Sonne.

Saturn wird 1899, Juli 19. die heliocentrische Länge 261° 32′ = 171° 32′ + 90° erreichen, also die Stellung D. Der heliocentrische Beobachter würde dann den Ring am weitesten geöffnet sehen, und zwar die Südseite vor der Kugel, die Nordseite hinter ihr. Einige Wochen vorher ist die Opposition insofern eine ungünstige, als sie dem Aphelium des Planeten nahe liegt. Seit einigen Jahren schon ist der Ring ziemlich gut sichtbar; nach der Opposition von 1899 wird sich der Ring wieder ver-

schmälern, um zu Ende des Jahres 1906 für kleinere Fernrohre zu verschwinden (Stellung A).

Mit der Ebene des Ringes fallen die Ebenen des Saturnäquators und die Bahnebenen seiner acht bekannten Monde bis auf wenige Grade zusammen. Alle jene Kreise, nämlich der Äquator und seine Parallelkreise, die Begrenzungskreise des Ringes und seine nachher zu besprechenden innern Trennungslinien, endlich die Mondbahnen erscheinen uns als Ellipsen von ungefähr derselben Excentricität, die sich im Laufe des siderischen Saturnsjahres beständig ändert. Für die Opposition von 1899 giebt unsere Fig. 141, wo der Ring schwarz gezeichnet und der äußerste Mond weggelassen ist, den Anblick im umkehrenden Fernrohr wieder. Daß die Pfeile, welche die Richtung der Rotation und der Umläufe darstellen, richtig gezeichnet sind, erkennt man leicht, wenn man erwägt, daß wir das System im umkehrenden Fern-

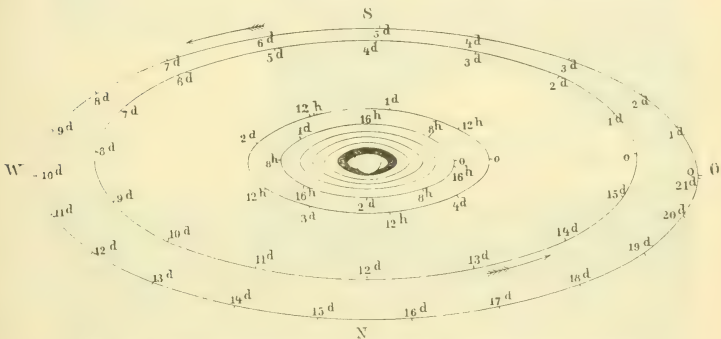


Fig. 141. Anblick des Saturnsystems im Jahre 1899. (Nach dem Nautical Almanac.)
Maßstab: 13,7 mm = 1′ an der Sphäre.

rohr von der Nordseite des Planeten her betrachten. Man drehe die Figur um, und man hat die wahre Lage des Ringes und der Trabantenbahnen für einen nördlichen Beobachter. Der Lauf der Pfeile gegen den Uhrzeiger wird natürlich bei dieser Umdrehung nicht geändert.

Der Ring ist entschieden heller als der Planet. Er schimmert goldgelb, während Saturn bleigrau ist.

In den Oppositionen ist, wie eine leichte geometrische Betrachtung lehrt, der Schatten der Saturnskugel nicht zu sehen, so wenig wie der der Jupiterskugel (vgl. S. 420). Dagegen nimmt man, wie Fig. 142 zeigt, in diesen Stellungen den Schatten wahr, den die sichtbare Hälfte des Ringes auf die Kugel wirft; die Figur bezieht sich auf eine dem Perihel naheliegende Opposition. Aus der bloßen Thatsache der Beschattung folgt schon, daß Saturn kein merkliches Eigenlicht aussendet. Dabei kann er doch noch in ziemlich heißem

Zustande sein, ja seine geringe Dichte macht das wahrscheinlich. Aber die mächtige Wolkenhülle hält das etwaige Eigenlicht zurück.

Die Figur lehrt uns auch, daß der Saturnsring nicht einfach ist. Vielmehr bemerken wir eine fast ganz durchgehende Teilung. Diese wird gewöhnlich die Cassinische Teilung genannt, da sie im Jahre 1677 von Dominikus Cassini und Maraldi festgestellt worden ist; andeutungsweise hat sie schon W. Ball im Jahre 1665 wahrgenommen. Sie zerlegt den Ring in zwei Teile, den äußern und den innern Ring. Auf dem äußern bemerkt man auf beiden Ansen[1] noch eine feinere Teilung: es erscheint hier ein schwarzer Strich, den man dem Aussehen nach wohl als Bleistiftlinie bezeichnet hat. Das ist die im Jahre 1837 von Encke in Berlin entdeckte und nach ihm benannte Teilung. Sie ist zu verschiedenen Zeiten in verschiedener Deutlichkeit sichtbar, und es geht nicht wohl an, diese Differenzen nur den Beobachtern und den Fernrohren zuzuschieben. Dagegen ist die Cassinische Teilung, wie zuerst W. Herschel in den achtziger Jahren des 18. Jahrhunderts festgestellt hat, eine Teilung im strengsten Sinne: sie erscheint genau so hell wie der Himmelsgrund, von dem also der Beobachter durch sie hindurch einen Streifen sehen kann. — Endlich erscheint noch weiter nach innen als der innere Ring ein mattes Gebilde, der Florring.



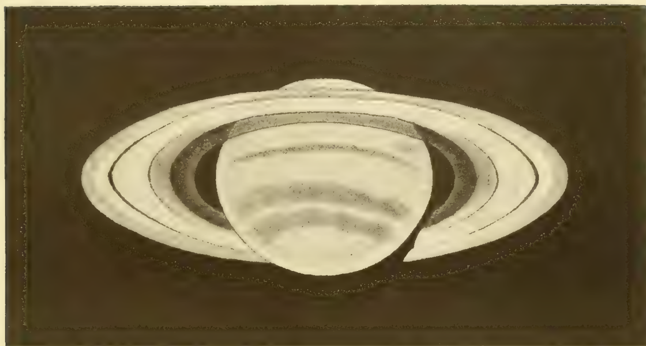
Fig. 142. Saturn in der Perihel-Opposition. Nordhälfte des Ringes zu sehen.

Während das Bestehen der Cassinischen Teilung und des Florringes wohl von keinem Beobachter bestritten wird, widersprechen sich vielfach die Mitteilungen über weitere Teilungen und Lichtabstufungen. Unsere Figuren 143 sind nach Beobachtungen von J. Rheden hergestellt; wir erklären sie teilweise mit Benutzung seiner Notizen und bemerken vorweg, daß beide auf der rechten Seite den Schatten der Kugel auf dem Ringe zeigen. Die Lage dieses Schattens erklärt sich durch folgende Daten:

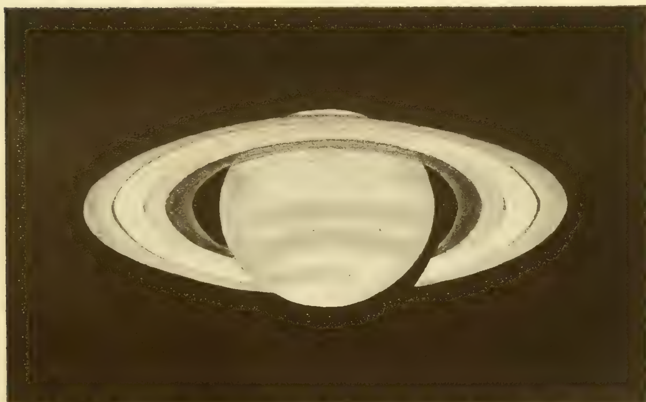
Tag	Heliocentrische Längen ♄	♁
1896, Juni 13.	227°	263°
Juli 14.	228°	293°

[1] Vom lateinischen ansa, der Henkel; es werden so die beiden äußersten Ringteile rechts und links genannt.

a) 1896, Juni 13. 10h 20m M. E. Z.



b) 1896, Juli 14. 10h M. E. Z.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 429.

Fig. 143. **Saturn.**

Beobachtet und gezeichnet von Jos. Rheden am 5″-Äquatorial der Privat-Sternwarte von Dr. Pietro Libera in Trient.

Zeichnet man sich hiernach das Dreieck ☉ ♁ ♄, dann ergiebt sich sofort, daß für einen nördlichen Beobachter der Schatten im umkehrenden Fernrohre rechts von der Kugel stehen mußte. Die Thatsache der Beschattung lehrt, daß außer dem Saturn selbst auch der Ring auf das erborgte Sonnenlicht angewiesen ist.

1896, Juni 13. Beginn der Beobachtung 9^h. Himmel ganz klar, Luft ziemlich ruhig, 300fache Vergrößerung zulässig. Gegen $9^1/_2{}^h$ wird das Bild noch ruhiger. Mit großer Evidenz sind vier Ringe sichtbar[1], und Cassinis Teilung ist über den ganzen Ring hin zu verfolgen. Der innerste, dunkle Ring war überall sichtbar, sowohl auf als auch außerhalb der Scheibe. Zum erstenmal sah der Beobachter heute den Planetenrand durch den Ring schimmern. (Diese auch von andern wahrgenommene Erscheinung hat dem innersten Gebilde den Namen des Florringes eingetragen.) Der Schatten des Planeten auf dem Ringe war schon ziemlich breit und schien gegen die Anse hin etwas konkav und nicht ganz regelmäßig. Es zeigte sich nämlich etwas südlich von der Cassinischen Trennung eine ganz feine spitzige Einbuchtung in dem Ringe. Auf der Scheibe selbst ist am Äquator ein ganz feines Streifchen, das nur in den besten Momenten zu erkennen ist. Die nördliche dunkle Zone ist deutlich doppelt.

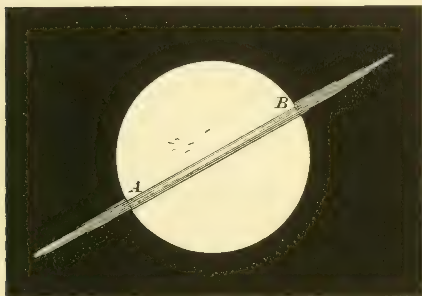


Fig. 144. Der Saturnring in stärkster Verkürzung gesehen.

1896, Juli 14. Bild nach 9^h vorzüglich. Auf der Scheibe ist die nördliche dunkle Zone leicht erkennbar; daß sie doppelt ist, läßt sich schwerer feststellen. Nördlich von ihr noch ein feines dunkles Streifchen, das nicht ganz nach Osten hinüberreicht. Der Schatten des Planeten ist ziemlich regelmäßig. (Seine Vergrößerung gegen die frühere Beobachtung erklärt sich leicht aus der geänderten Gestalt des Dreiecks ☉ ♁ ♄.) Von der am 13. Juni notierten Einbuchtung des Ringes ist heute nichts mehr zu sehen. Nach außen ist der Schatten etwas breiter als nach innen. Die Cassinische Trennung ist um den ganzen Ring herum zu verfolgen. Der innerste, dunkle Ring hebt sich vom Himmelsgrunde nur sehr schwach ab; deutlich sieht man durch ihn den Planetenrand schimmern. Äußerster Ring nach außen dunkler als gegen die Cassinische Teilung.

Der Vollständigkeit wegen geben wir in Fig. 144 noch den Anblick des Saturnringes in der stärksten Verkürzung, also in den Knotendurchgängen.

---

[1] Das zeigt sich auch an einem Saturnbilde, das E. Roberts 1896, April 25. an einem $6^1/_2$zölligen Spiegelfernrohr entworfen und im Journal of the British Astronomical Association (vol. VI, page 337) mitgeteilt hat, in aller Bestimmtheit. Die Enckesche Teilung, welche unser Zeichner vorsichtigerweise nur vermuten läßt, tritt dort sehr bestimmt hervor.

Die Rotationszeit der Planetenkugel hat man aus der Verschiebung einzelner Flecken auf $10^h\ 15^m$ ermittelt; doch weichen viele Bestimmungen um die eine oder andere Minute davon ab; es scheint, daß die Flecken hier wie auf der Sonne und dem Jupiter auch noch Eigenbewegungen haben. Der schnellen Rotation entspricht eine bedeutende Abplattung. Da wir im übrigen die Saturnkugel in der Opposition in mehr als doppelt so großem Abstande sehen als die des Jupiter, und da auch die Beleuchtung durch die Sonne viel schwächer ist, so kann man die Wolkenhülle des zweitgrößten Planeten lange nicht so gut kennen lernen wie die des allergrößten.

Die Größenverhältnisse im Saturnsystem geben wir nachstehend auf Grund von Barnards Messungen[1], und zwar in Winkelsekunden für die mittlere Opposition und in Myriometern. Es ist dabei zu bedenken, daß zwar die Dimensionen des äußern Ringes und der Cassinischen Teilung gut zu verbürgen sind, natürlich auch noch der äußere Durchmesser des innern Ringes und die Dimensionen der Kugel selbst; daß dagegen die innere Begrenzung des innern Ringes und des Ringsystems überhaupt noch sehr unsicher bekannt ist, indem jener Ring allmählich in den durchscheinenden Florring und dieser allmählich in den Himmelsgrund übergeht. Der Florring ist hier nicht berücksichtigt.

		myriom	
Polarhalbmesser des Planeten	8″,15	5640	Abplattung
Äquatorhalbmesser des Planeten . . .	8,87	6140	$\frac{a-b}{a} = \frac{1}{12,32}$.
Entfernung der innern hellen Ringgrenze von Planeten	3,89	2690	
Innerer Halbmesser des innern Ringes .	12,76	8840	
Äußerer Halbmesser des innern Ringes .	16,87	11680	
Breite der Cassinischen Teilung . . .	0,56	390	
Innerer Halbmesser des äußern Ringes	17,43	12070	
Äußerer Halbmesser des äußern Ringes	20,12	13950.	

Das Verhältnis der Masse des Ringsystems zur Masse der Kugel läßt sich aus den Bewegungen der Satelliten ermitteln, die durch den Ring ein wenig gestört werden, da ihre Bahnebenen nicht ganz mit dessen Ebene zusammenfallen; man erhält nach Bessel ♄ : Ring = 118 : 1. Giebt man nun dem Ringsystem und der Kugel gleiche Dichtigkeit, so erhält man aus dem bekannten Volumen der Kugel auch das Volumen des Ringes, und man kann nun, da dessen übrige Abmessungen bekannt sind, auch seine Dicke berechnen, also seine Dimension, parallel zur Polarachse des Planeten

[1] Mitgeteilt von G. Witt im IX. Jahrgange (1896—1897) der Zeitschrift „Himmel und Erde“; hier auf die ☉-Parallaxe 8″,80 umgerechnet. Daß die leicht zu bildenden Summen nur bei dem Bogenmaße genau stimmen, ist leicht erklärlich.

gemessen. Man erhält nur etwa 200 km, also die Hälfte der Breite der Hauptteilung, und so erklärt sich's, daß der Ring in den Knotendurchgängen äußerst dünn erscheint.

Nicht nur für den beobachtenden, auch für den rechnenden Himmelsforscher bieten die Ringe große Schwierigkeiten. Sie können keine starren Gebilde sein; wären sie nämlich in diesem Falle nicht ganz genau centriert, so müßten sie auf den Planeten herabstürzen. Sind sie aber auch in einem Augenblicke so gestellt, daß zwischen den anziehenden Kräften Gleichgewicht besteht, so kann das doch, infolge der wechselvollen Bewegungen der Trabanten, nur eben für einen Augenblick bestehen bleiben. Die Annahme von einem flüssigen oder luftförmigen Aggregatzustande bietet ähnliche Schwierigkeiten. Es bleibt nur übrig, die Ringe für staubartige Gebilde zu halten, d. h. anzunehmen, daß sie aus sehr vielen und sehr kleinen einzelnen Körperchen bestehen, deren durchschnittliche Größe besonders auch im Vergleich zu ihren durchschnittlichen gegenseitigen Abständen gering ist. Sie sind dann dem Asteroidengürtel zu vergleichen; denn jedes Körperchen wird, von der Anziehung der übrigen nur wenig gestört, seinen Umlauf um den Saturn machen wie ein kleiner Mond. Saturn hätte dann außer seinen acht großen Trabanten eine Unzahl von kleinern, und man bemerkt, daß, wie bei Jupiter und der Sonne, auch hier die kleinen Satelliten dem Centralkörper näher sind als die großen.

Auch einiges andere erklärt sich zwanglos aus dieser Hypothese. So wird man die Cassinische Teilung, ähnlich gewissen Lücken im Asteroidengürtel (vgl. S. 410) mit Kirkwood als das Gebiet deuten können, wo die Anziehung der großen Trabanten die kleinen infolge der Kommensurabilität der Umlaufszeiten zu sehr stört, als daß sie regelmäßig ihre Bahnen ziehen könnten. Das nur gelegentliche Auftreten der Enckeschen Teilung und sonstiger Trennungslinien auf den hellen Linien zeigt Anordnungen, die ab und zu, vielleicht in naher Abhängigkeit von den Trabantenstellungen vorkommen; die allmähliche Abnahme der Ringhelligkeit nach innen, zumal das Bestehen eines Gebietes, durch welches die Kugel ohne Brechung sichtbar bleibt, lehrt uns, daß die Dichtigkeit nach innen zu abnimmt. Dieses Gebiet mit sehr wenigen weit zerstreuten Körpern wird in der Gruppierung von Zeit zu Zeit noch größere Unterschiede aufweisen als die dichtbesetzten hellen Ringe; damit erklären sich die Verschiedenheiten in der Zeichnung dieses Gebietes, und sein scheinbarer Umfang wird von dem Auge des Beobachters und der Güte seines Fernrohres so sehr abhängen, daß auch die Differenzen in dieser Beziehung aufgeklärt erscheinen. Endlich werden die verschiedenen Unregelmäßigkeiten, z. B. die Aushöhlung der rechten Anse am Schatten in Fig. 143,a, die auch von andern Beobachtern gelegentlich bemerkt worden ist, durch zufällige Aufhäufungen und Lücken an den

getroffenen Stellen erklärt; ähnlich das mehrfach behauptete rauhe (reliefartige) Gefüge des Ringes.

Nachdem Hirn und Maxwell die mechanische Theorie der Bewegung der staubartigen Ringe ausgebildet hatten, wies Seeliger nach, daß das angenommene Gefüge auch mit den Grundsätzen der Photometrie stimmt, indem sich die Lichtstärke der einzelnen Ringteile in den einzelnen Phasen und bei besondern Vorgängen, z. B. bei Bedeckungen der Monde durch den Ring, dadurch hinreichend erklären läßt.

Einen nahezu zwingenden Beweis lieferte James Keeler von der Allegheny-Sternwarte im Jahre 1895. Rein geometrisch sind nämlich zwei Annahmen möglich: 1. der Ring rotiert als ein starres Gebilde; in diesem Falle müssen seine äußersten Teile linear am schnellsten gehen, die innersten am langsamsten; oder 2. der Ring besteht im Sinne der Maxwellschen Theorie aus lauter kleinen Satelliten; in diesem Falle müssen umgekehrt die äußersten Teile am langsamsten und die innern am schnellsten gehen, gemäß dem dritten Keplerschen Gesetze, welches bekanntlich die Quadrate der Umlaufszeiten mit den Kuben der mittlern Entfernungen vom Centralkörper in Proportion setzt, woraus für die äußern Körper eine langsamere Bewegung folgt.

Die Entscheidung gelang nun Keeler mit Hilfe des Dopplerschen Prinzips, dessen Bedeutung für die Astronomie wir früher (S. 323—325) hervorgehoben haben. Er richtete den Spektralspalt parallel zur großen Achse der Ringellipse; dann mußten alle Spektrallinien so verdreht erscheinen, daß an der vorausgehenden Anse ihre Brechbarkeit vermindert war, an der nachfolgenden Anse erhöht; denn jene rückte vom Beobachter ab, diese kam auf ihn zu. Die Spektrogramme, die Keeler erhielt, lassen sich nun in der That am besten deuten, wenn man die Trabantenhypothese annimmt; denn sie zeigen auf dem Ringspektrum desto kleinere Verdrehungen, je näher man dem Rande kommt, auf dem Planetenspektrum natürlich umgekehrt, und innerhalb der allerdings weiten Genauigkeitsgrenzen des sehr kleinen, nur mit Mühe abmeßbaren Spektrogrammes gelang die Feststellung, daß die spektrographisch nach dem Dopplerschen Prinzip gemessenen Geschwindigkeiten ebenso groß sind wie die mit Rücksicht auf die großen Monde nach dem dritten Keplerschen Gesetze berechneten.

Eine künstlich hervorgerufene Erscheinung, die mit den Saturnringen eine gewisse Ähnlichkeit hat, lehrt uns Fig. 46 (S. 146) kennen. In dem 37. Kapitel werden wir der Frage näher treten, ob die äußere Ähnlichkeit auf eine Analogie der Entstehung zurückzuführen ist.

* * *

Die acht großen Monde des Saturn, die man bis jetzt kennt, sind von so verschiedener Helligkeit, daß man recht gehabt hat, sie nach dem Vorschlage

von J. Herschel nicht, wie beim Jupiter, durch Nummern, sondern durch mythologische Namen anzugeben; so läßt sich ein etwa neu entdeckter Mond benennen, ohne daß die Reihenfolge der andern gestört würde. Die Namen sind von den Geschwistern des Gottes Kronos (Saturnus) und andern Titanen entlehnt. Folgende Tafel giebt das Wichtigste über diese Himmelskörper an.

	Sterngröße.	Zeit der Entdeckung.	Entdecker.	Siderischer Umlauf.	Abstand vom Centrum des ♄ in ♄-Radien.
I. Mimas	12,8	1789, IX 17.	W. Herschel	$0^d,94$	3,3
II. Encéladus	12,3	1789, VIII 28.	"	1,37	4,3
III. Têthys	11,4	1684, III	D. Cassini	1,89	5,3
IV. Dione	11,5	1684, III	"	2,74	6,8
V. Rhea	10,8	1672, XII 23.	"	4,52	9,5
VI. Titān	9,4	1655, III 25.	Huygens	15,95	20,7
VII. Hypérion	13,7	1648, IX 16 (18).	Bond (Lassell)	21,28	26,8
VIII. Jápetus	11,4	1671, X	Cassini	79,33	64,4

Die Bahnexcentricitäten sind bei Tethys und Rhea verschwindend klein, bei den andern mäßig; nur für Hyperion ist $e = 0,1$, also ziemlich groß. Klein sind auch die Neigungen gegen den Saturnsäquator; nur Japetus hat eine stärker geneigte Bahn. Die synodischen Umlaufszeiten läßt Fig. 141, S. 427 erkennen, wo auch die Excentricitäten und Neigungen berücksichtigt sind; die starke Excentricität von Hyperion stört die Symmetrie der Figur. Die Figur giebt auch noch die Wege an, die die Monde (mit Ausnahme des wegen seines weiten Abstandes nicht aufgenommenen Japetus) um den Centralkörper ziehen.

Wie bei der Erde und dem Jupiter, bewirkt auch hier die Anziehung, welche der Äquatorialwulst auf die Trabanten ausübt, daß ihre Knoten auf der Ebene des Äquators des Planeten einen ziemlich schnellen Rücklauf ausführen, während die Perihelien fortrücken. Auch untereinander stören sich diese Monde nicht unmerklich. J. Herschel und d'Arrest haben zwischen den Umlaufszeiten der Saturnsmonde ähnliche Beziehungen aufgefunden, wie wir sie oben (S. 421—423) für die Jupitersmonde mitgeteilt haben. Es ist nämlich, wenn man mit u_1 die siderische Periode des Mimas, mit u_2 die des Enceladus u. s. w. bezeichnet, $u_3 = 2u_1$; $u_4 = 2u_2$; $494\,u_1 = 340\,u_2 = 465^d\,18^h = 1^a + 100^d,5$; also mit Rücksicht auf die ersten Gleichungen

$$494\,u_1 = 340\,u_2 = 247\,u_3 = 170\,u_4 = 1^a + 100^d,5.$$

Nahezu ist ferner $3\,u_7 = 4\,u_6$, wodurch Hyperion eine nicht unbedeutende Störung erfährt. Einige weitere Beziehungen übergehen wir. Aus den Störungen hat man die sehr geringen Werte für die Massen der Monde abgeleitet. Betreffs ihrer wahren Größen ist man im allgemeinen auf Vermutungen angewiesen, wie sie bei Phobos und Deimos (S. 399)

sowie bei dem Barnardschen Jupitersmonde (S. 423) benutzt worden sind. Hiernach kommt man für den hellsten Mond Titan auf einen Durchmesser von 480 myriom. Bei diesem ist Barnard auch eine direkte Bestimmung gelungen, die 0″,59 oder 410 myriom ergiebt. Danach ist wenigstens dieser Mond bestimmt größer als der unsere; die meisten andern mögen kleiner sein. Wie man sieht, ist Titan nur wenig kleiner als ☿.

Die Jahreszahlen der Entdeckungen lassen die verschieden leichte Auffindbarkeit erkennen; sie richtet sich nach der Größe, aber auch nach dem Abstande vom Centralkörper. Man bemerke noch, daß Titan im Saturnsystem eine Art von mittlerer Stellung einnimmt, ungefähr wie Jupiter im System der Sonne.

Sichtbare Verfinsterungen der Trabanten sind beim Saturn seltener als beim Jupiter; Vorübergänge vor der Scheibe lassen sich gleichfalls nicht oft beobachten, da die Trabanten nahezu in der Ringebene liegen. Am ersten gelingt es noch in den Knotendurchgängen des Planeten, wo der Ring am engsten erscheint, also etwa alle 15 Jahre. Dann erinnert überhaupt die Bewegung der Trabanten an das Bild, das uns das Jupitersystem regelmäßig darbietet: die Monde stehen nahezu in gerader Linie. Unsere Fig. 145 giebt das nach einer Beobachtung in Washington wieder; die Trabanten sind numeriert, ihre scheinbaren Abstände vom Saturn aber natürlich nicht den wahren Abständen proportional. Die Lage, wie sie Fig. 141, S. 427 für das Jahr 1899, angenähert auch für 1898 und 1900 darstellt, ruft natürlich scheinbar eine noch viel größere Mannigfaltigkeit in den möglichen Stellungen hervor. Im Raume ziehen die vier innern Monde Schlingenlinien, die vier äußern Schlangenlinien.

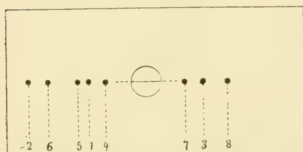


Fig. 145. Saturn mit seinen acht Monden im Sechsundzwanzigzöller der Sternwarte zu Washington 1878, Okt. 27.

* * *

Es ist bekannt, daß der Erdmond eine siderische Umlaufszeit von $27^1/_3{}^d$, aber eine synodische von $29^1/_2{}^d$ besitzt; die zweite Periode ist auch die Länge des Sonnentages für den Mond, dessen Rotationszeit, wie gleichfalls bekannt, ebenso groß ist wie die Zeit seines wahren Umlaufes um die Erde. Wir wollen uns nun vorstellen, der Mond habe eine weiße, das Sonnenlicht gut reflektierende Halbkugel, während die andere grau gefärbt sein und das Licht in schwächerem Grade zurückwerfen soll. Die Trennungslinie dieser beiden Halbkugeln soll für den irdischen Beobachter gerade mitten über den Mond gehen, so daß von der uns sichtbaren Mondseite für einen nördlichen Beobachter die rechte, westliche Hälfte zu der weißen, die linke, östliche zu der grauen Halbkugel

gehört. Es wird dann das erste Viertel merklich heller sein als das letzte. Ein Beobachter auf der nördlichen Halbkugel der Sonne sieht den Mond in $29^1/_2{}^d$ (nicht in $27^1/_3{}^d$) um die Erde kreisen, und immer, wenn der Mond in größter Elongation (etwa 8′) von der Erde steht, also im ersten Viertel, erscheint er dem solaren Beobachter in größter Helligkeit, da er diesen zwar immer die vollbeleuchtete Seite zuwendet, in diesem Falle jedoch die vollbeleuchtete weiße Halbkugel. Umgekehrt wird im letzten Viertel, wo die graue Seite zur Sonne gewandt ist, der Mond die geringste Helligkeit aufweisen; in den andern Phasen finden mittlere Helligkeiten statt. Da man sich einen Beobachter auf der Sonne nicht gut vorstellen kann, so denke man sich einen solchen auf dem Merkur, wo man, nach unsern Verhältnissen zu urteilen, sogar ohne Fernrohr den Mond neben der Erde sehen würde (vgl. S. 355). Er wird im ganzen denselben Anblick haben, besonders in den Oppositionen der Erde, oder geocentrisch gesprochen, in den untern Konjunktionen des Merkur.

Nun zeigt sich genau diese Erscheinung an Japetus, dem äußersten uns bekannten Saturnsmonde: in der westlichsten Elongation vom Centralkörper erscheint er regelmäßig um volle $1^1/_2$ Sterngrößen heller als in der östlichsten. Vorläufig ist hierfür wohl die Erklärung, die sich der Leser schon selbst gebildet haben wird, die beste: Japetus dreht sich um seine Achse in derselben Periode von 79^d, in der er um den centralen Körper läuft, er dreht ihr also, von der Libration abgesehen, stets dieselbe Seite zu, und von dieser ist, kronocentrisch[1] gerechnet, die rechte Hälfte die weißere; auf der abgewandten Seite setzen sich die helle und die dunkle Hälfte entsprechend fort. Natürlich ist es nicht notwendig, daß der Meridian, der die graue Hälfte von der weißen trennt, in mittlerer Libration genau durch den Saturn geht, nicht einmal, daß Grau und Weiß voneinander scharf geschieden sind. Jedenfalls ist, solange man für die verschiedene Helligkeit des Japetus westlich und östlich vom Saturn keine bessere Erklärung weiß, die angedeutete anzunehmen, obschon eine so große Verschiedenheit in der Albedo der beiden Halbkugeln auffallen muß. — Die Zahl 11,4 (S. 433) gilt für die größte Helligkeit.

Mit größerer oder geringerer Bestimmtheit hat man auch für den einen oder andern Jupitersmond ähnliches beobachtet. Hier wird sich die Frage durch planmäßige Beobachtungen an kleinen Fernrohren nach der Argelanderschen Methode der Stufenschätzung (vgl. das 35. Kapitel) vielleicht entscheiden lassen. Sollte es sich bestätigen, daß außer unserem eigenen Monde noch mehrere andere Satelliten im Planetensystem, vielleicht auch die beiden Hauptplaneten Merkur und Venus, das Gesetz der Gleichheit von

[1] Vom Kronos oder Saturnus aus.

Achsendrehungszeit und Umlaufszeit befolgen, dann müßte man wohl bei all diesen Himmelskörpern auf dieselbe Ursache, am wahrscheinlichsten auf die Gezeitenreibung, einen Schluß machen. Darüber ist an anderer Stelle (S. 368—370) das Nötige gesagt worden.

* * *

Die Masse des Saturn ist nicht nur an sich, sondern auch mit Rücksicht auf das Größenverhältnis viel kleiner als die des Jupiter; Saturn ist daher noch viel lockerer gefügt als jener. Seine Dichte beträgt nur mehr 0,12 von der der Erdkugel, also etwa $^2/_3$ von der des Wassers; sie entspricht der Dichte eines angetrockneten Pappel- oder Weidenstammes. Höchst wahrscheinlich sind aber die äußern Teile lockerer als die innern, so daß, wie bei der Erde, die angegebene Dichte nur als Mittelwert aufzufassen ist.

Die Schwere am Äquator des Saturn ist ziemlich genau gleich der irdischen, während sie an seinen Polen um den fünften Teil größer ist. Daß trotz dieser zufälligen Übereinstimmung menschenähnliche Geschöpfe auf dem Saturn wohl nicht leben können, ergiebt sich aus der stark verminderten Sonnenstrahlung. Das Tagesgestirn erscheint dort ja unter 9,54mal so kleinem Durchmesser als bei uns; die Sonnenscheibe ist also etwa 91mal verkleinert, und 91mal schwächer ist auch die Licht- und Wärmestrahlung. Durch die mächtige Wolkenschale, worin sich der große Planet, vermutlich infolge eines bedeutenden Vorrates von Eigenwärme, beständig verhüllt, mag nur ein sehr trübes Dämmerlicht auf ihn fallen, und trotz der großen Äquatorschiefe, die an Mars erinnert, dürfte kein bedeutender Unterschied der Jahreszeiten stattfinden. So wird es auch bedeutungslos sein, daß, wie auf der Erde und dem Mars, die Nordhalbkugel einen Aphel-Sommer und einen Perihel-Winter hat, die Südhalbkugel umgekehrt. Man mag sich, wenn man eine Belebtheit aller Planetenoberflächen durch organisierte Wesen annehmen will, auf einer leidlich festen Saturnsumhüllung, tief unter der Wolkenschicht, eine Vegetation vorstellen, die an unsere Steinkohlenflora erinnert; man kann das Aufkommen dieser Vegetation auch einer spätern Zeit vorbehalten. Jedenfalls sind dann für weite Gebiete des Planeten wegen der langen Beschattung durch den Ring noch besondere Bedenken wegzuschaffen.

In welcher Gestalt für die Anwohner verschiedener Parallelkreise des Saturn die Ringe erscheinen würden, das möge der Leser mit Rücksicht auf die oben (S. 430) angegebenen, leidlich zu verbürgenden Abmessungen dieser merkwürdigen Welt geometrisch zu ermitteln suchen. Die Parallaxe spielt dabei eine nicht zu unterschätzende Rolle; als größter Kreis wird der Ring nur einem Beobachter erscheinen, der sich in der Ringebene, also ungefähr am Äquator des Planeten befindet. Zur Beleuchtung der Kugel kann der Ring nur in beschränktem Maße dienen, viel mehr kommt seine Beschattung

in Betracht. Zahlreiche versprengte Glieder, besonders auch ganz in der Nähe des Planeten, werden vielleicht als helle Möndchen in den verschiedensten Phasen erglänzen, wie denn auch die acht großen Monde mit ihren wechselnden Gestalten und ihren Verfinsterungen durch den Ring sowie durch seinen und des Planeten Schatten die Aufmerksamkeit des Beobachters in hohem Grade fesseln müssen. — Der Pol des Saturnsäquators und des Ringsystems (Länge etwa 80°, Breite etwa 62°) ist nicht allzuweit von dem Pole unseres eigenen Äquators, wie er gegenwärtig steht, entfernt; die Polarachse ist also der Erdachse nahezu parallel, steht daher in der Kulmination ungefähr vertikal, und für einen Beobachter am Äquator des Saturn bedeckt der Ring einen Gürtel von Sternen, der etwa unserem Himmelsäquator entspricht.

Dreißigstes Kapitel.

Uranus und Neptun mit ihren Monden.

Da die meisten sichtbaren Himmelskörper, nämlich alle, die man als Fixsterne bezeichnet, und außerdem die meisten Asteroiden, auch bei stärkster Vergrößerung als unteilbare Punkte erscheinen, so genügt im allgemeinen schon die an einem Stern beobachtete Scheibengestalt, um ihn als eine Ausnahme zu kennzeichnen. Himmelskörper mit meßbarer Scheibe können zu drei verschiedenen Abteilungen gehören, nämlich

1. zu den später zu besprechenden Nebeln oder Nebelflecken, und zwar dann, wenn sie einen festen Ort [1] an der Sphäre einnehmen gleich den Fixsternen und sich von diesen eben nur durch die unveränderliche Scheibengestalt unterscheiden. Hier wird jede meßbare Flächenausdehnung als Scheibe bezeichnet; die Gestalten sind im übrigen sehr mannigfaltig, stets aber in langen Zeiträumen unveränderlich.

2. zu den Planeten, und zwar dann, wenn sie eine Ortsveränderung zeigen, die sich nach dem coppernicanischen System als das Ergebnis eines wahren Laufes in einer nicht sehr excentrischen Ellipse darstellt, in Verbindung mit dem Epicykel, den der Lauf der Erde hervorruft. Ihre Gestalt ist dann relativ auch unveränderlich.

3. zu den Kometen, wenn sie sich in sehr excentrischen und stark geneigten wahren Bahnen bewegen, wenn zugleich ihre Gestalt rasch wechselt und bei großer Ausdehnung ihre Masse gering ist.

Während die Nebelflecke durch ihre stellare Unbeweglichkeit von den beiden andern Klassen scharf geschieden sind, möchte man glauben, daß sich diese untereinander nicht so gut trennen ließen. Indessen hat doch bis jetzt die Erfahrung gezeigt, daß die erhebliche Bahn-Excentricität und -Neigung

[1] Streng genommen: einen nur oder fast nur durch die Präcession geänderten Ort.

zusammen mit der leichten Veränderlichkeit eines Gebildes von äußerst geringer Dichte sehr vielen Körpern des Sonnensystems zukommt, und daß bei keinem einzigen auf die Dauer ein Zweifel obwalten kann, ob er als Planet oder als Komet aufzufassen ist. Die Asteroiden freilich haben manchmal auch sehr excentrische Bahnen mit großen Neigungen gegen die Ekliptik; auch sind ihre Massen gering; aber der geringe Raum, den sie einnehmen, und die anscheinende Unveränderlichkeit ihrer Gestalt weist ihnen den Platz unter den Planeten an.

Auf die Dauer, sagten wir eben, könne an der Natur eines meßbaren Himmelskörpers nicht gezweifelt werden. Beim ersten Anblick ist aber eine Entscheidung nicht immer möglich. Viele Nebelflecke zeigen sich in so vollkommen kreisförmigem Umrisse, daß der Unkundige sie für Planeten halten könnte; man nennt sie dieserhalb geradezu planetarische Nebel, und nur ihre Unbeweglichkeit, die sich aus wiederholten Beobachtungen ergiebt, kann die Frage entscheiden.

Als W. Herschel am 13. März 1781 mit einem großen Spiegelfernrohr das Sternbild der Zwillinge durchmusterte, fand er darin ein Objekt von runder Begrenzung und einigen Sekunden Durchmesser. Da eine wiederholte Ortsbestimmung bald erkennen ließ, daß das Objekt seinen Ort an der Sphäre änderte, so konnte es kein Nebelfleck sein; und da ein neuer Planet, soweit die Aufzeichnungen der Menschheit reichten, noch nie entdeckt worden war, so begreift man, daß Herschel den Himmelskörper zunächst für einen Kometen ansah und auch der königl. Gesellschaft der Wissenschaften in London den Fund unter diesem Namen anzeigte. Wiederholte Beobachtungen anderer Astronomen zeigten nun aber, daß das neuentdeckte Gestirn nicht nur in einer nahezu kreisförmigen Bahn ging, die zudem gegen die Ekliptik weniger geneigt war als die irgend eines Planeten, sondern daß auch seine Gestalt unveränderlich war. Das Gestirn mußte darum gleich dem Jupiter und Saturn als wirklicher Planet gelten. Der Entdecker gab ihm den Namen Georgium sidus, um seinen königlichen Gönner Georg III. von England zu ehren; Lalande schlug den Namen des Entdeckers vor, während Bode mit Rücksicht auf die Mythologie, wonach Mars der Sohn des Jupiter und dieser der Sohn des Saturn ist, dem noch weiter von der Sonne abstehenden neuen Planeten den Namen des Uranus, als des Vaters vom Saturn, zu geben vorschlug. Man darf sich freuen, daß dieser Vorschlag Beifall fand, da es im allgemeinen höchstens bei den Asteroiden angeht, dynastische Gefühle oder persönliche Verdienste durch Namengebung am Himmel zu ehren. — Als Zeichen für den Planeten wählte man dieses ⛢; in England wird dafür vielfach ♅ gesetzt, zur Erinnerung an den Entdecker.

Wäre Uranus auch nicht an der meßbaren Scheibe erkannt worden, so hätte er sich doch der Beobachtung am Ende nicht entziehen können; nur

der mangelhaften Registrierung der Sternörter in den ältern Zeiten muß man es zuschreiben, daß er sich so lange im Incognito halten konnte. In der That hat ihn schon zu Ende des 17. Jahrhunderts Flamsteed zu fünf verschiedenen Malen beobachtet und für einen Fixstern gehalten, ja von Lemonnier in Paris hat man aus dem Ende des Jahres 1768 und dem Anfange des folgenden Jahres nicht weniger als acht Ortsbestimmungen, die diesem Beobachter schon damals die Entdeckung ermöglicht hätten, wäre er, gleich Piazzi (s. S. 402), so klug gewesen, sie rechtzeitig zu überarbeiten. Die Auffindung der ältern Notizen bot übrigens neben der geringen Excentricität und Neigung der Bahn den großen Vorteil, daß sich die Elemente leicht berechnen ließen; die Sache lag hier weit günstiger als später bei der Ceres.

Der Bodeschen Regel (vgl. S. 401) fügt sich Uranus mit der Bahnhalbachse 19,183 noch recht gut. Linear ist diese Entfernung gleich 287 Millionen myriom; der Abstand von der ♁ ist gleich 20,18 Einheiten in der Konjunktion, 18,18 in der Opposition. Der Durchmesser ist kleiner als bei ♃ und ♄, aber viel größer als bei der ♁; man kann ihn mit einiger Sicherheit auf 5310 myriom angeben. Die Dichte ist größer als beim ♄ und kleiner als beim ♃; die Albedo scheint größer als bei allen andern großen Planeten zu sein. Man setzt die Helligkeit des Uranus gewöhnlich der eines mittlern Fixsternes sechster Größe gleich. Aus meinen Beobachtungen nach Argelanders Methode folgt indessen, daß der Planet nicht nur in den Oppositionen, sondern auch in den Stillständen merklich heller als diese Sterne und nur etwas schwächer ist als die, welche zwischen der 5. und 6. Größenklasse die Mitte halten. Seine Umlaufszeit ist siderisch gleich 84 Jahren, synodisch gleich $1^a\ 4^d\ 6^h$. Viele eifrige Beobachter des gestirnten Himmels können sich erinnern, mehrere Umläufe Jupiters verfolgt zu haben, auch wohl einen Saturnsumlauf, und wenn es sehr hoch geht, deren zwei. Dagegen wird nicht leicht ein Beobachter einen vollen Uranusumlauf feststellen können, wenn er auch in sehr früher Jugend das nötige Verständnis erlangt haben sollte.

Aus der großen Umlaufszeit und Bahnhalbachse folgt weiter, daß zwei benachbarte Oppositionen nahezu in derselben Gegend des Himmels stattfinden müssen. Unsere Fig. 146, wo die Sterne 3. und 4. Größe mit sechs- und vierstrahligen Kreuzen, die 4. und 5. Größe mit Punkten bezeichnet sind [1], wird die Aufsuchung des Planeten mit freiem Auge in den Jahren 1898 und 1899 erleichtern; allerdings wird man doch, weil die Oppositionen bei sehr tiefem Stande in den hellen Nächten stattfinden,

[1] Die Karte hat das Äquinox 1900,0. Die Decl-Grade sind der Einfachheit halber ebenso weit gemacht wie die RA-Grade, obschon diese im Durchschnitt nur 0,94 von der Weite jener haben sollten. — DC 7265 bedeutet den Stern Nr. 7265 nach dem Draper Catalogue.

wenigstens für den Anfang ein Opernglas zu Hilfe nehmen. Hat man den Stern damit erst gefunden, so ist er auch mit unbewaffnetem Auge wiederzufinden. Die Lage der Sterne β, δ und ω Scorpii wird zuvor nach der großen Karte im Anschlusse an α Scorpii festgestellt. Die Auflösung von ω Scorpii in die beiden Sterne ω_1 und ω_2 gelingt, wie wir beiläufig bemerken wollen, nur einem sehr guten Auge. Der Stillstand (Statio) des ♅ im März 1898, Stellung a auf der Karte, ist zum Kennenlernen des Planeten sehr günstig; dieser geht dann erst langsam, hierauf immer schneller rückläufig nach rechts, ist zu Anfang Mai so nahe bei den Sternen ω, daß eine Trennung mit freiem Auge unmöglich ist, und gelangt Mai 22. 5^h M. E. Z. in die Opposition b. Der folgende Stillstand liegt rechts schon außerhalb der Karte (August 7. 14^h). Der nun wieder rechtläufige Planet macht unter sehr ungünstigen Sichtbarkeitsbedingungen den Weg von neuem, und 1899, Mai 27. ist ein Stillstand, dem 1899, Mai 27. 3^h die Opposition d folgt.

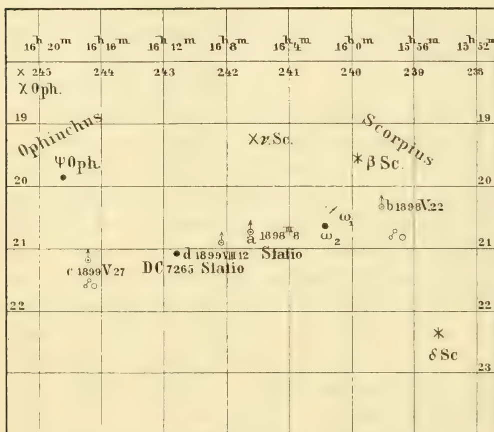


Fig. 146. Oppositionen des Uranus in den Jahren 1898 und 1899.

Was die Planetennatur des Uranus bald außer Zweifel setzte, war die Entdeckung mehrerer Monde; ihre Beobachtung lehrte die relativ große Masse des Himmelskörpers kennen, und Kometen sind, eben der geringen Masse wegen, niemals von Monden umgeben. Zuerst entdeckte W. Herschel 1787, Januar 11. die beiden äußersten Uranusmonde; er glaubte später noch vier innere zu sehen, doch hat kein anderer Beobachter, auch nicht mit den kraftvollen Instrumenten der neuesten Zeit, in den von Herschel angegebenen Abständen vom Planeten diese Monde finden können, nicht einmal einen von ihnen. Dagegen entdeckte 1851, Oktober 24. Lassell auf Malta noch näher beim Planeten zwei sehr schwache Möndchen, die mit dem Barnardschen Jupitersmonde zu den schwierigsten Beobachtungsobjekten gehören. Läßt man die unbestätigte Angabe von Herschel auf sich beruhen, so kennt man vier Uranusmonde; John Herschel hat den äußern die vorhin

angegebenen Namen zuerteilt, die an den „Sommernachtstraum“ seines großen Landsmannes erinnern; die innern nannte er Ariel und Umbriel zur Erinnerung an desselben Dichters Lustspiel „der Sturm“ und an Popes „Lockenraub“. Auch Titania und Oberon sind nur in stärkern Fernrohren sichtbar.

Auf Grund photometrischer Erwägungen hat man, ähnlich wie bei den Monden des ♃ und ♄, die Durchmesser von Titania und Oberon auf etwa 90 myriom bestimmt, und man glaubt, daß auch Ariel und Umbriel nicht viel kleiner sind, da sie sonst in so großem Abstande von ☉ und ♁ überhaupt nicht sichtbar sein könnten. Die siderischen Umlaufszeiten sind gleich $2^d,52$ bei Ariel, $4^d,14$ Umbriel, $8^d,71$ Titania, $13^d,46$ Oberon. Die Abstände vom Planeten sind $13'',78$; $19'',20$; $31'',48$; $42'',10$, während dieser selbst $3'',82$ im Durchmesser hat — alles heliocentrisch. Die Umlaufszeiten sind wieder, wie beim ♃ und ♄, durch ein Gesetz miteinander verbunden; es bezieht sich hier auf die Gleichzeitigkeit ihrer Konjunktion untereinander.

Alle vier Monde scheinen nahezu in derselben Ebene Kreise zu beschreiben; der aufsteigende Knoten dieser gemeinsamen Bahnebene auf der Ekliptik liegt etwa bei 166^0, und die Neigung gegen die Ekliptikalebene beträgt 98^0.

Das ist ein sehr hoher Betrag; er geht noch über den rechten Winkel hinaus. Warum sagen wir nicht, daß die Neigung 82^0 betrage, da die Trabantenebene doch auch diesen Winkel mit der Erdbahnebene macht? Um die merkwürdige Thatsache auszudrücken, daß die Uranusmonde rückläufig sind, daß sie sich für einen auf dem Uranus stehenden und den Nordpol der Ekliptik oder auch der Uranusbahnebene im Zenith habenden Beobachter von links nach rechts bewegen.

Weil dieser wahre Rücklauf der Uranusmonde, den man wohl von dem scheinbaren Rücklaufe der Planeten zur Oppositionszeit unterscheiden muß, eine an sich merkwürdige Thatsache und außerdem ein geeignetes Übungsbeispiel zur Erprobung unserer wirklichen Einsicht in den Bau des Systems ist, wollen wir noch einen Augenblick dabei verweilen. Die Bahnebene eines beliebigen unter diesen Monden bleibt einer festen Lage parallel, während der Planet seine weite Bahn um die Sonne zieht; das gilt ja ähnlich für alle Rotationen und Umläufe, abgesehen von den Störungen, die man als Präcession und Knotenrücklauf bezeichnet. Jene feste Ebene können wir durch einen beliebigen Punkt legen; wird sie durch das Centrum der Sonne gelegt, so schneidet sie die Ekliptik in den Längen 166^0 und 346^0, d. h. sie bildet mit der uns bekannten Durchschnittslinie der Ekliptikalebene und einer parallel zum Erdäquator durch das Centrum der Sonne gelegten Ebene die Winkel von 166^0 und 14^0 in leicht erkennbarem Sinne.

Haben wir die Lage dieser Durchschnitts- oder Knotenlinie in 166^0 und 346^0, so stellen wir uns zunächst vor, die Trabantenebene mache nur einen kleinen Winkel mit der Ekliptikalebene, und die Trabanten gingen in

demselben Sinne wie fast alle Körper unseres Systems. Zu diesem Zwecke werde ein Kreis auf Papier gezeichnet, das auf der einen Seite weiß, auf der andern blau gefärbt ist; wir zeichnen ihn auf beide Seiten, zerschneiden das Papier längs eines Durchmessers und tragen auf der weißen Seite noch einen Pfeil auf, der gegen den Zeiger fliegt, auf der blauen einen mit dem Zeiger fliegenden Pfeil; noch besser ist es, den Pfeil auszuschneiden. Dieselbe Bewegung, die auf der einen Seite mit dem Zeiger geht, geht auf der andern gegen ihn. Man legt das Papier auf den Tisch, weiß nach oben, und dreht es etwas um den in der Tischebene bleibenden Durchmesser. Der Halbkreis stellt uns dann die nördliche Hälfte irgend einer Trabantenbahn im System vor oder auch des Saturnringes oder auch eines Planetenäquators, jedoch nicht so sehr diese Ebene selbst als vielmehr die feste durch das Sonnencentrum gehende Ebene, wozu die Ebene der Bahn, des Ringes oder Äquators beständig parallel bleibt; je nach der größern oder geringern Neigung und der Lage, die wir der Knotenlinie geben, ist es die Parallelebene zur Bahn eines Jupitersmondes oder des Phobos, Deimos, Mimas, Enceladus u. s. w.; die Größe des Kreises stelle die Größe der Bahn dar. Der solare (im Sonnencentrum stehende) Beobachter sieht nach einer Richtung einen Punkt, wo der Trabant, oder vielmehr dessen Abbild, von Süden her kommend, die Ekliptikalebene, nämlich die des Tisches, durchschneidet; das ist der aufsteigende Knoten, der andere der absteigende. Drehen wir das Papier immer weiter um die Knotenlinie, so vergrößern wir immer mehr den spitzen Winkel, der als Neigung der Bahn aufgefaßt wird. Noch immer sieht der solare Beobachter, wenn er den Kopf zum Nordpol der Ekliptik richtet, den Trabanten gegen den Zeiger laufen; steht das Papier zur Tischebene senkrecht, so hört der Vergleich auf; drehen wir es aber noch weiter, so daß die blaue Seite nach oben oder Norden schaut, dann kommt das Bild auf dieser Seite in Betracht; der Trabant ist rückläufig für den solaren Beobachter. Man pflegte früher in den Elementenangaben einen solchen Rücklauf durch ein besonderes Zeichen anzugeben; das ist, wie der Leser sieht, nicht notwendig und geschieht in neuerer Zeit auch nicht mehr; man nennt einen stumpfen Neigungswinkel, um anzudeuten, daß die Seite der Ebene, die in den gewöhnlichen Fällen einen spitzen Winkel mit der Ekliptik macht, in unserem Bilde die blaue Papierseite, jetzt einen stumpfen Winkel damit bildet. Für die Uranusmonde ist dieser Winkel, bezogen auf die mittlere Ekliptik von 1880, gleich 97° 51′, während der aufsteigende Knoten, auf das Äquinox derselben Zeit bezogen, in 165° 54′ liegt.

Nun hat Uranus in der nächsten Zeit folgende heliocentrische Längen:

1898,	Jan. 1.	l = 240°
1899	„ „	l = 244°
1900	„ „	l = 249°

und darum wird ein heliocentrischer, ziemlich genau auch ein geocentrischer Beobachter in dieser Zeit die Südseite des Systems vor Augen haben, d. h. die Seite, auf der man die Monde gegen den Zeiger laufen sieht. Bei der großen Neigung sieht man, weil das System 80° vom Knoten entfernt ist, die Kreisbahnen nahezu in der wahren Gestalt; sie erscheinen, wie es Fig. 147 zeigt, als schwach excentrische Ellipsen, die natürlich auch im umkehrenden Fernrohr gegen den Uhrzeigersinn durchlaufen werden. Die Figur giebt noch die große und kleine Achse dieser Ellipsen und durch NS die Stellung des Deklinationskreises an, sowie durch den innersten Kreis die relative Größe des Planeten. Betrachtet man die Figur im durchscheinenden Lichte von der andern Seite her, so haben die Ellipsen die Lage wie vor oder nach 42 Jahren, und der Lauf der Pfeile bezieht sich gleichfalls darauf.



Fig. 147. Scheinbarer Lauf der Uranus-Monde im Jahre 1899.

Ist dagegen Uranus im auf- oder absteigenden Knoten der Trabantenbahnen, so ziehen die Möndchen gerade Linien ähnlich den Jupitersmonden, nur mit starker Neigung gegen die Ekliptik.

Beim Jupiter und Saturn laufen bekanntlich die Monde ungefähr in der Äquatorebene des Centralkörpers, auch beim Mars ist es noch so trotz seiner viel geringern Abplattung, während die weit schwächer abgeplattete Erde ihren Begleiter keineswegs in die Ebene ihres Äquators hat zwingen können. Da nun ♅ nach Größe, Dichtigkeit und Albedo am besten mit ♃ und ♄ zu vergleichen ist, so läßt sich wenigstens vermuten, daß er ihnen auch in andern Punkten gleicht, daß er also schnell rotiert, stark abgeplattet ist und die Monde ungefähr in seiner Äquatorebene hält. Ist dem so, dann wird seine Rotationsachse mit dem Ende, das nach dem Drehungssinne unserem Nordpol entspricht, etwa nach 76° Länge, — 8° Breite zeigen, also nach dem Grenzgebiete des Orion und des Stiers, mit dem andern Ende etwa nach η Ophiuchi. Und in einer Stellung, wie sie Fig. 147 angiebt, wird die Achse beinahe auf uns zulaufen, so daß wir die Abplattung nicht bemerken können, aber die Scheibe wie ein Rad rotieren sehen; geht der Planet durch die Knoten der Trabantenebenen, dann steht die Rotationsachse auf der Gesichtslinie senkrecht, und die Abplattung stellt sich fast in ihrem vollen Betrage dar. Leider werden diese interessanten Beobachtungen zunächst und auch wohl noch für lange Zeit durch die äußern Umstände vereitelt. In unserer Figur, die genau den Anblick für die Oppo-

sition von 1899 wiedergiebt, ist Oberon 22 mm vom Centrum des ♅ entfernt; in Wahrheit sind[1] es 42″, und da arc 1″ = 1 : 206265, so müssen wir die Figur aus dem Abstande von $\frac{22}{42} \cdot 206265\,\text{mm} = 108\,\text{m}$ betrachten, wenn sie auch der scheinbaren Größe nach den Anblick des Uranussystems wiedergeben soll. Wir denken uns also die Figur weiß auf schwarz hergestellt, der Planet sei als Scheibchen von etwa 2 mm Durchmesser aus blendend weißem Papier geschnitten und auf schwarzen Grund geklebt; neben ihm stehen an irgend welchen Stellen der Bahnlinien noch viel kleinere weiße Pünktchen. Die kleine Planetenscheibe durchziehen ein paar schwarze Linien, ähnlich den Äquatorstreifen des ♃. Nun wird die Figur horizontal auf einen Tisch gelegt, und der Zeichner steigt auf einen Turm von 108 m Höhe, um bei hochstehender Sonne mit einem guten abwärts gerichteten Fernrohr das Planetenscheibchen zu untersuchen. Wieviel mag er wohl von den schwarzen Linien sehen oder, selbst in bequemern Stellungen als die gegenwärtige, von der Abplattung?

Aber für den Uranus steht die Sache noch ungünstiger. Das Papierscheibchen glänzt im irdischen Sonnenscheine; den von Herschel gefundenen Planeten beleuchtet die Sonne aber im Verhältnisse $19{,}18^2 = 368{,}0$ schwächer; er erscheint in blassem Gelb und verträgt durchaus nicht die starken Vergrößerungen, die der Beobachter auf das Scheibchen anwenden könnte. Man darf sich also nicht darüber wundern, daß alle Angaben über Rotation, Achsenlage und Abplattung des Uranus, ja selbst über einzelne Äquatorstreifen, die man gesehen haben will, noch immer energischem Widerspruch begegnet sind. Wir sind thatsächlich hier auf bloße Vermutungen angewiesen. Als eine solche sei die in den letzten Jahren aufgetauchte Ansicht vermerkt, daß die angeblichen Äquatorstreifen unter 45 oder 48° gegen die Ekliptik geneigt seien; sie würden dann auch mit den Ebenen der Trabantenbahnen erhebliche Winkel machen.

* * *

Obgleich Uranus bei seiner langsamen Bewegung und ziemlich großen Helligkeit ein durchaus gesicherter Fund war und nicht, gleich so vielen später entdeckten Asteroiden, in der Gefahr des Verlorengehens stand, machte er doch den rechnenden Astronomen nicht weniger Verdruß als jene kleinen Weltkörper. Denn die ältern Beobachtungen wollten sich durchaus mit den neuern nicht in Einklang bringen lassen; ein Elementensystem, das für kurze Zeit auf Grund des Newtonschen Gesetzes die beobachteten Örter darstellte, wich desto mehr davon ab, je weiter man in der Zeit vorwärts oder

[1] Etwas mehr als für den heliocentrischen Beobachter, weil ♅ ♁ < ⊙ ♁, wenn ♁ ☍ ⊙. — Es ist natürlich die große Halbachse der verkürzten Bahn gemessen.

rückwärts ging. Die Störungen durch Jupiter und Saturn konnten allein die Abweichungen noch nicht erklären.

Der große deutsche Astronom Bessel war der erste, der zu behaupten wagte, daß die Abweichungen des Uranuslaufes von der Rechnung durch einen noch unbekannten großen Planeten jenseits der Uranusbahn hervorgerufen würden. In den vierziger Jahren des 19. Jahrhunderts unternahmen gleichzeitig, aber unabhängig voneinander, der Engländer Adams und der Franzose Leverrier das unerhörte Wagnis, aus den sehr kleinen, höchstens 2′ geocentrisch betragenden Abweichungen des Uranus von den berechneten Örtern die Elemente des störenden Körpers zu ermitteln. Daß dieser nicht zwischen ♄ und ♅ liegen konnte, ging daraus hervor, daß er dann auch den ♄ merklich hätte stören müssen; aus demselben Grunde durfte man ihn überhaupt nicht zu nahe an die ♅-Bahn rücken, sondern viel weiter ins Weltall hinaus; doch aber nicht zu weit, weil dann die Wirkungen auf ♅ und ♄ wieder zu ähnlich geworden wären; am ♄ aber waren so große Ungleichheiten nicht bemerkt worden, sondern nur die berechenbaren Störungen durch ♃ und ♅. Einen ungefähren Anhalt gab die Bodesche Regel. Voraussichtlich war die Bahn des neu zu entdeckenden Himmelskörpers knapp doppelt so weit wie die des ♅. Durch weitere scharfsinnige Vermutungen und mit einem staunenswerten Aufwande von Denkkraft und Rechnung gelangten endlich beide Astronomen dazu, auch für die Lage der Bahn, also für Knoten und Neigung und für des Planeten augenblicklichen Ort gegründete Vermutungen aufzustellen.

Während sich Adams, der zuerst mit der Arbeit fertig geworden ist, die reife Frucht entgehen lassen mußte, hauptsächlich wohl infolge eines unbegründeten Zauderns der ältern englischen Astronomen, die sich seiner annahmen, teilte Leverrier in den Jahren 1845 und 1846 der Pariser Akademie der Wissenschaften seine fortschreitend genauern Ergebnisse mit, und im September 1846 konnte er an Galle, damals Observator der Berliner Sternwarte, eine briefliche Mitteilung über den voraussichtlichen Ort des störenden transuranischen Planeten gelangen lassen. In Berlin war damals die Hora XXI der akademischen Sternkarten (vgl. S. 405) gerade im Rohdruck fertig geworden; mit ihrer Hilfe gelang es Galle, den d'Arrest unterstützte, den Planeten am 23. September 1846 aufzufinden, und zwar nicht ganz einen Grad von dem angewiesenen Orte; Adams war, wie sich später zeigte, von der andern Seite her der Wahrheit ziemlich ebenso nahe gekommen.

Leverrier hatte auf Grund der von ihm berechneten Masse auch Vermutungen über die Größe des störenden Planeten angestellt; er gab ihm etwa 3″ Durchmesser. Auch das bestätigte Galle nahezu, als er am Fraunhoferschen Refraktor der Berliner Sternwarte die Scheibengestalt

feststellte. Der Planet hat die Sterngröße 7 bis 8, ist also mit freiem Auge unsichtbar.

Leverrier starb 31 Jahre später am Gedenktage der Entdeckung seines Planeten (1877, Sept. 23.). Auch Adams ist vor einigen Jahren gestorben; Galle lebt noch (in Potsdam) als Zeuge eines der glänzendsten Ereignisse in der Geschichte menschlicher Denkthätigkeit. — Man einigte sich bald nach der Berliner Entdeckung auf den Namen Neptun und das Zeichen ♆ des Dreizackes, obwohl die folgerichtige Fortsetzung der Ahnenreihe ♂ ♃ ♄ ♅ auf den Erebus, wenigstens nach der altgriechischen Götterlehre, hätte führen müssen[1].

Wie ♅, so ist auch ♆ schon vor seiner eigentlichen Entdeckung im Fernrohr gesehen, aber für einen Fixstern gehalten worden. Als solchen hat ihn Lamont in München 1845, Okt. 25. und 1846, Sept. 7. verzeichnet. Noch merkwürdiger ist, daß er bereits in dem Lalandeschen Fixsternverzeichnisse auftritt, das die British Association herausgegeben hat. Baily sagt in den Bemerkungen zu diesem Verzeichnis: „Der von Lalande 1795, Mai 10. beobachtete Stern ist zweifellos der Planet [♆]. Zieht man die Urschrift zu Rate, so scheint es, daß er ihn am 10. und auch schon am 8. Mai beobachtet hat; aber beim Druck der Histoire céleste zeigte sich, daß die beiden Örter dieses für einen Fixstern gehaltenen Sternes nicht übereinstimmten; darum wurde die Beobachtung vom 8. Mai verworfen und gar nicht gedruckt, die vom 10. zwar gedruckt, aber als verdächtig bezeichnet."

Inwiefern Adams und Leverrier der Wahrheit nahegekommen sind, zeigt Fig. 148, wo man außer der ♅-Bahn die wahre, aus den neuen und den erwähnten ältern Beobachtungen hervorgehende Bahn des ♆ wie auch die vermeintliche, von den beiden Forschern berechnete Bahn gezeichnet findet, mit Angabe der Örter der beiden Planeten in verschiedenen Jahren. Die wahre ♆-Bahn ist viel enger als die berechnete, die sich dem Bodeschen Gesetz anschloß (vgl. die Tabelle S. 401). Infolgedessen mußte man natürlich die Masse des ♆ kleiner annehmen, als die Vorberechner gethan hatten, weil sonst die Störungen des ♅ zu groß ausgefallen wären. Die Excentricität war kleiner, als man vermutet hatte; das zeigt sich in der Abweichung der beiden Linien von einem regelmäßigen Kreisringe; für 1840—1850 stimmt die berechnete Bahn recht gut mit den Beobachtungen.

Es ist nicht zu bezweifeln, daß Neptun bei seiner relativen Helligkeit auf die Dauer so gut entdeckt worden wäre wie so manches Planetchen

[1] Man schreibt dem berühmten Gauß die scherzhafte Äußerung zu, den ehrwürdigen alten Uranus könne eigentlich nur — Bacchus ins Wanken gebracht haben, daher sei dieser Name vorzuziehen. Arago hatte vorgeschlagen, den Planeten „Leverrier" zu nennen. Daß dieses nicht geschehen ist, kann man so wenig bedauern wie die Verwerfung des Namens Herschel für den Uranus.

zwischen ♂ und ♃, wenn er sich auch nicht durch die ♅=Störungen verraten hätte; am wenigsten ist man aber berechtigt, die Berliner Entdeckung, die doch zweifellos auf Grund von Leverriers Rechnungen gemacht ist, bloß als einen glücklichen Zufall aufzufassen.

Da Neptun dem freiem Auge unsichtbar ist, verzichten wir auf Angaben über seine Sichtbarkeit in den nächsten Jahren. Der mit Fernrohren und genauern Karten ausgerüstete Leser wird ihn mit Hilfe der leicht zugänglichen Ephemeriden auffinden können. Die Umlaufszeit beträgt siderisch

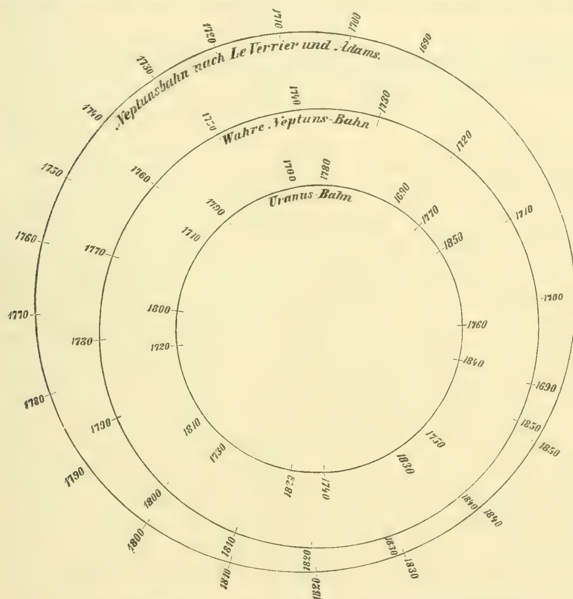


Fig. 148. Bahn des Uranus; berechnete und wahre Bahn des Neptun.

$164^1/_2$ Jahre, synodisch im Mittel $1^a\ 2^d\ 6^h$. Oppositionen finden statt 1898, Dez. 14. 20^h, 1899, Dez. 17. 6^h.

Neptun ist ungefähr so groß wie ♅, aber viel massenhafter. Demzufolge ist er auch ein merklich dichterer Körper, ja er hat unter den vier äußern, sich in diesem Punkte so ähnlichen Planeten die größte Dichte überhaupt; immerhin beträgt diese nur 0,3 von der der ♁ oder 1,7 von der des Wassers.

Daß wir auf der Neptunsscheibe, welche noch merklich kleiner (2″,2) und drei= bis viermal schwächer beleuchtet ist als die des Uranus, noch weniger etwas Sicheres zu erkennen vermögen als auf diesem, versteht sich von selbst.

Einen Trabanten des Neptun hat Lassell 1846, Oktober 10., also nur 17^d nach der Entdeckung des Planeten selbst, aufgefunden. Die Länge des aufsteigenden Knotens der Trabantenbahn auf der Ekliptik beträgt 185°,15 — 0°,148 (t — 1890), die Neigung ist gleich 119°,35 — 0°,165 × (t — 1890). Wie die zweite Angabe zeigt, ist auch dieser Satellit rückläufig. Sein Abstand vom Planeten beträgt 16″,3, der Durchmesser ist aus photometrischen Gründen auf etwa 365 myriom anzunehmen, also ein wenig größer als bei unserem Monde. Die Umlaufszeit beträgt 5^d,88. Ein zweiter, noch etwas näher beim ♆ stehender Mond, den Lassell gleichfalls gesehen haben wollte, ist noch nicht wieder beobachtet worden, und auch eine Wahrnehmung von Schäberle zu Mount Hamilton, die sich auf einen solchen Mond deuten läßt, bedarf noch der Bestätigung.

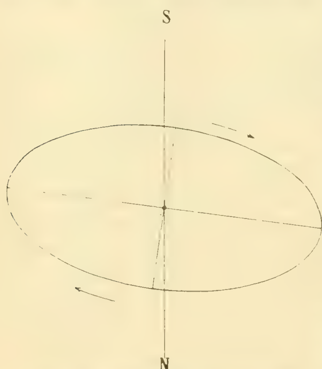


Fig. 149. Bahnlage des Neptunsmondes im Jahre 1899.

Die Veränderlichkeit der Bahnlage des sicher bekannten Satelliten läßt sich nach Tisserand schon durch eine relativ kleine Abplattung erklären, wenn man nur eine bedeutende Neigung des ♆-Äquators gegen die Trabantenbahn voraussetzt. In Fig. 149 geben wir die gegenwärtige Bahnlage des Mondes für einen irdischen Beobachter. Die heliocentrische Länge des ♆ für 1899, Januar 1. beträgt 83° 29′. Es ist für den Leser eine nützliche Übung, aus dieser Zahl und den für Knoten und Neigung der Bahn des Trabanten mitgeteilten Zahlen die Richtigkeit der Zeichnung zu bestätigen (vgl. S. 441—443). Die Bahn an sich ist nahezu kreisförmig, die Excentricität rührt fast nur von der Stellung zum Beobachter her.

Ob es noch einen transneptunischen Planeten giebt, läßt sich zur Zeit nicht sagen. Die Entdeckung auf Grund der Theorie würde natürlich hier noch schwieriger sein als beim Neptun selbst; denn bei dem jedenfalls sehr großen Abstande und der langsamen Bewegung würden sich die Störungen des ♆ lange Zeit nicht als solche erkennen lassen. Übrigens wird man, wenn ein solcher transneptunischer Planet von der Größenordnung der Planeten ♃, ♄, ♅ und ♆ ist, vermuten dürfen, daß er zu den Sternen 10. bis 11. Größe gehört, und die photographische Himmelskarte, die zur Zeit geplant wird, dürfte ihn durch Nichtübereinstimmung von zwei Platten in Bezug auf seinen Ort vielleicht schon bald verraten.

* * *

Solange man über die Rotationsachse des Neptun nichts Zuverlässiges weiß, wäre es eine müßige Frage, wie sich die Sichtbarkeit des Himmels und die Bewohnbarkeit der eigenen Welt da drüben, vielleicht an der Pforte unseres Sonnensystems, gestalten mögen. Es ist denkbar, daß auch ♆ eigene Wärme in hohem Grade besitzt; deutet doch bei ihm wie bei den drei andern großen Planeten die große Albedo auf eine dichte Wolkenhülle, für die man eben als einfachste Erklärung die Annahme einer bedeutenden Eigenwärme hat. Die Spektra von ♄, ♅ und ♆ zeigen in ziemlicher Übereinstimmung außer den Fraunhoferschen Linien, die das erborgte Sonnenlicht verraten, noch breite Absorptionsstreifen in verschiedenen Teilen, offenbar eine Folge des zweimaligen Durchganges durch eine noch jenseits der Wolkenhülle die Planeten umgebende Lufthülle. Gelegentlich beobachtete Bedeckungsvorgänge haben namentlich beim Uranus dieser Vermutung gleichfalls Raum gegeben.

Schon beim Saturn haben wir darauf hingewiesen, daß in der Bewohnbarkeitsfrage zwischen dem Wärmebedürfnis und dem Lichtbedürfnis zu unterscheiden ist. Es ist möglich, daß wenigstens auf dem einen oder andern von den großen Planeten die Sonne für die Vegetation nur das Licht zu spenden braucht, während die nötige Wärme aus eigenem Vorrat bestritten wird. Die Verhältnisse der Steinkohlenzeit legen diese Erwägung nahe.

Ob allerdings auf dem Neptun das Sonnenlicht die nötige Kraft auch noch hätte — wer vermag es zu sagen? Jedenfalls muß bedacht werden, daß bei uns das Licht des Vollmondes etwa 300 000mal schwächer ist als das der Sonne, während die Sonne den Neptun 900mal schwächer bestrahlt als uns, da er 30mal so weit von ihr absteht. Also ist der Tag auf dem Neptun immerhin über 300mal heller als unsere Vollmondnächte, es mag also, auch wenn das Licht eine sehr dichte Wolkenhülle durchsetzen muß, doch noch ein guter Teil übrig bleiben, der vielleicht genügend ist, um in einer schwülen und feuchten Treibhausluft, wie sie auf einem eigenwarmen Planeten herrschen mag, organische Vorgänge einzuleiten. Man kann dem nicht entgegenhalten, daß ein so schwaches Licht hier auf Erden auch bei sonst günstigen Bedingungen das Pflanzenleben nicht zu unterhalten vermöge; die bloße Thatsache, daß die vom Vollmonde ausgehenden Strahlen für uns noch sehr hell sind, d. h. daß der winzige Bruchteil dieser Strahlen, der seinen Weg durch unsere Pupille findet, trotz verschiedener Absorptions- und Reflexionsverluste, die er im Auge erleidet, schließlich noch hinreicht, um physiologische Vorgänge auf der Netzhaut hervorzurufen — diese Thatsache lehrt doch, daß organische Erscheinungen überhaupt mit sehr geringem Arbeitsaufwande ausgelöst werden können. Wir sagen: ausgelöst, um anzudeuten, daß an sich für größere Energiequellen gesorgt sein muß, etwa durch planetare Eigenwärme. Und nun bedenke man, wieviel schwächer als das Voll-

mondlicht das der kleinsten Fixsterne 6. Größe ist, die dem unbewaffneten Auge doch noch sichtbar werden.

Schließen wir unsere Wanderung durch das Planetensystem mit einer Betrachtung über Größe und Glanz der Sonne auf verschiedenen Wandelsternen. Ist ein Planet von der Sonne $n$mal so weit entfernt wie die Erde, so erscheint ihm die Sonne offenbar mit einem $n$mal kleinern Durchmesser, also in einer n^2mal kleinern Scheibengröße. Wird aber ein mit unsern Augen begabter Himmelsbeobachter drüben die Sonnenscheibe auch weniger glänzend sehen? Keineswegs; denn dasselbe kleine Fleckchen auf seiner Netzhaut, das hier von den Sonnenstrahlen aus einem bestimmten Teilchen der Scheibe getroffen würde, wird dort von den Strahlen aus einem in Wahrheit n^2mal so großen Teilchen getroffen; also gleicht sich für die Flächenhelligkeit oder den Glanz die dem Quadrate des Abstandes proportionale Lichtschwächung gerade wieder aus. Die gesamte Lichtmenge ist natürlich wieder n^2mal kleiner, entsprechend auch die Beleuchtung und Erwärmung des Planeten.

So wird denn auch z. B. die Erde in mittlerer Opposition zur Sonne vom Merkur aus in derselben Flächenhelligkeit erscheinen wie von der Venus aus, obwohl sie für diese größer ist und ihr mehr Licht zusendet. Dagegen ist für uns die Flächenhelligkeit des ♃ größer als die des ♄, diese wieder größer als die des ♅ und endlich des ♆, weil diese Himmelskörper der Reihe nach schwächer von der Sonne beleuchtet werden und die Albedo nicht sehr verschieden ist.

Einunddreißigstes Kapitel.

Die Kometen. — Ihre Bahnen und ihre Beschaffenheit. — Das widerstehende Mittel.

Außer den Planeten mit ihren Trabanten giebt es noch eine große Menge von Himmelskörpern, die gleichfalls um die Sonne laufen, sich jedoch durch die Lage und Gestalt ihrer Bahnen von den Planeten ebensosehr unterscheiden wie durch ihre bedeutende Größe und geringe Masse. Man nennt sie aus einem nachher mitzuteilenden Grunde Kometen. Auf die erwähnten Unterschiede ist schon früher (S. 437) hingewiesen worden.

Die Bahn eines Kometen liegt, gleich der eines Planeten, in einer durch das Sonnencentrum gehenden Ebene. Daß die Kometen überhaupt Weltkörper sind und nicht etwa atmosphärische Dünste, geht zweifellos daraus hervor, daß sie die tägliche scheinbare Himmelsbewegung mitmachen. Die Bahnen selbst hielt noch Kepler i. J. 1608 für gerade Linien; später, nachdem er seine Gesetze aufgestellt und nachdem Newton diese als Folgerungen aus

seinem Gravitationsgesetze erkannt hatte, war es ein verhältnismäßig leichter Schluß, daß auch die Kometenbahnen Kegelschnitte seien.

Die Bahnebenen besitzen alle möglichen Knotenlagen von 0^0 bis 360^0 und alle möglichen Neigungen, von 0^0 bis 180^0. Eine deutliche Orientierung gegen die Ekliptik oder gegen bestimmte Längen ist auch im großen und ganzen nicht zu erkennen; was man dafür ausgegeben hat, läßt sich aus den äußern Sichtbarkeitsbedingungen erklären.

Während die Bahnen der großen Planeten kreisähnlich sind, zeigen die der kleinen bedeutende Excentricitäten. Diese werden bei den Kometenbahnen noch größer, so daß wir gezwungen sind, die allgemeinen Gleichungen etwas umzuformen.

Die Gleichung $$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

drückt, wie wir wissen, eine Ellipse aus, deren Centrum der Nullpunkt des Koordinatensystems ist. Ersetzt man + durch —, so erhält man die Centralgleichung der Hyperbel. Ersetzt man hierin x durch $x \mp a$, d. h. nimmt man als Achse der y nicht die kleine Kurvenachse, sondern die Tangente in einem Endpunkte der großen Achse, so erhält man:

$$\frac{(x \mp a)^2}{a^2} \pm \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

wo das obere Vorzeichen für die Ellipse, das untere für die Hyperbel gilt. Nach Ausführung des Quadrates und einer leichten Reduktion hat man:

$$\frac{y^2}{b^2} = \frac{2x}{a} \mp \frac{x^2}{a^2}; \; y^2 = 2 \cdot \frac{b^2}{a} x \mp \frac{b^2}{a} \cdot \frac{1}{a} x^2.$$

Mit Rücksicht auf die (S. 197—198 gegebene) Definition des Parameters p hat man also $y^2 = 2px - \frac{p}{a} \cdot x^2$ für die Ellipse und . . (2)

$$y^2 = 2px + \frac{p}{a} \cdot x^2 \text{ für die Hyperbel.} \quad . \quad . \quad (3)$$

Diese Gleichungen, oder doch die ihnen entsprechenden geometrischen Sätze, sind schon den alten Griechen bekannt gewesen. Da bei der Ellipse das Quadrat der Ordinate (y^2) um eine gewisse Größe kleiner ist als das Rechteck aus der Abscisse und dem doppelten Parameter ($2px$), bei der Hyperbel hingegen größer, so führten sie eben die Namen „Mangel" (ἔνλειψις, ἔλλειψις[1]) und „Überschuß" (ὑπερβολή) für die beiden Kurven selbst ein, deren Eigenschaften sie aus der Betrachtung des Kegels abgeleitet hatten.

Macht man die große Achse bei gleichbleibendem Parameter immer größer, so wird die zu addierende oder zu subtrahierende Größe $px^2 : a$ immer kleiner, und setzt man $a = \infty$, so hat man

$$y^2 = 2px \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

[1] Das Wort Eklipse für eine Finsternis der ⊙ oder des ☾, woher auch „Ekliptik" stammt, hat einen andern Ursprung. Vgl. S. 28, Note 1.

als Ausdruck für eine Kurve, bei der zwischen dem Quadrate und dem Rechtecke völlige Gleichheit ($\pi\alpha\rho\alpha\beta o\lambda\acute{\eta}$) stattfindet — für die Parabel.

Die Parabel stellt uns den Grenzfall zwischen Ellipse und Hyperbel dar: die Ellipse ist zu gar keiner Mantellinie des Kegels parallel, enthält also gar keinen unendlich fernen Punkt; die Parabel ist zu einer Mantellinie, die Hyperbel zu zwei Mantellinien parallel; jene enthält also einen, diese zwei unendlich ferne Punkte.

Parabel und Hyperbel schließen sich erst in der Unendlichkeit; es sind offene Kurven. Die Parabel hat kein Centrum, daher man für sie auch keine Centralgleichung angeben kann.

Die numerische Excentricität ε einer Ellipse ist $= \sqrt{(a^2 - b^2) : a^2} = \sqrt{1 - \frac{p}{a}}$. Der Bruch wird für die Parabel unendlich klein, ihre Excentricität ist also gleich 1.

Das dritte Keplersche Gesetz läßt sich nun mit der von den Planetenmassen herrührenden Verbesserung in der Formel

$$\frac{T_1^2\,(1 + m_1)}{a_1^3} = \frac{T_2^2\,(1 + m_2)}{a_2^3} = \frac{T_3^2\,(1 + m_3)}{a_3^3} \cdots = \text{const.}$$

aussprechen, wo T_1, T_2, T_3 . . . die Umlaufszeiten, a_1, a_2, a_3 . . . die großen Halbachsen, m_1, m_2, m_3 . . . die auf die Sonnenmasse als Einheit bezogenen Massen der Planeten sind. Wir verfolgen die linke Seite weiter und erhalten, wenn b_1 und p_1 die kleine Halbachse und den Parameter der Bahn bedeuten,

$$\frac{T_1^2\,(1 + m_1)}{a_1^3} = \frac{T_1^2\,(1 + m_1)\,\pi^2}{\pi^2\,a_1^2\,b_1^2} \cdot \frac{b_1^2}{a_1} = \frac{T_1^2\,(1 + m_1) \cdot \pi^2 \cdot p_1}{(\pi\,a_1\,b_1)^2} = \text{const.}$$

Nun ist $\pi\,a_1\,b_1$ der Flächeninhalt der Ellipse, und mit Rücksicht auf das zweite Keplersche Gesetz ist $c_1 = \pi\,a_1\,b_1 : T_1$ eine konstante Größe, die Flächengeschwindigkeit des Planeten (vgl. S. 200). Es ist also weiterhin

$\frac{(1 + m_1)\,p_1 \cdot \pi^2}{c_1^2}$ oder auch die Wurzel daraus, $\frac{\pi}{c_1}\sqrt{(1 + m_1)\,p_1}$,

eine konstante Größe, d. h. sie gilt, auch wenn man c_1, m_1, p_1 durch c_2, m_2, p_2 u. s. w. ersetzt. So ist endlich noch

$$c_1 = \pi\sqrt{(1 + m_1)\,p_1} \times \text{const. oder,}$$

$$\text{wenn } m_1 = 0 \text{ ist, } c_1 = \pi\sqrt{p_1} \times \text{const.}$$

Diese Ausdrücke enthalten nicht mehr die Halbachsen, sondern den Parameter, eine Größe, die auch für die Parabel Bedeutung hat, während hier die Halbachsen unendlich groß, d. h. unbestimmt sind. So gelten denn auch für Himmelskörper, die in Parabeln um die Sonne laufen, die Gesetze Keplers; unsere ganze frühere Ableitung bleibt bestehen, wenn wir mit Parameter und Excentricität, anstatt mit den Achsen, die Rechnungen durch-

führen; nur tritt für das dritte Gesetz die letzte Formel ein, welche die Flächengeschwindigkeit, von dem Massenfaktor abgesehen, der Wurzel aus dem Parameter proportional setzt. Auch für die Hyperbel gelten die Ausdrücke. Die konstanten Größen der letzten Formeln lassen sich aus der Bewegung der Erde ableiten, für die man ja die Werte p, $\mathfrak{e}$ und m kennt. Die Bahnhalbachse der Erde gilt, wie immer, als Längeneinheit, oder genauer, die große Bahnhalbachse eines gedachten Planeten mit der Masse null, der dieselbe siderische Umlaufszeit hat wie die Erde.

Wenn in der sogen. Scheitelgleichung (2) der Ellipse $y = \pm p$ gesetzt wird, so erhält man $x = a \pm \sqrt{a^2 - pa} = a \pm \sqrt{a^2 - b^2}$; die durch diese vier Wertpaare für x und y bestimmten Punkte liegen mit den Brennpunkten in geraden, zur kleinen Achse parallelen Linien. Macht man in der Parabelgleichung (4) die Ordinate y gleich $\pm$ p, so wird eindeutig $x = \frac{p}{2}$. In der Mitte zwischen den beiden Punkten, wofür $x = \frac{p}{2}$, $y = \pm p$ ist, liegt der Brennpunkt der Parabel mit $x = \frac{p}{2}$, $y = 0$. In diesem Punkte steht bei parabolischen Bahnen, die nach Newtons Gesetze beschrieben werden, die Sonne; der andere Brennpunkt entflieht in die Unendlichkeit. Der Scheitel der Kurve ist das Perihel, es ist also die Periheldistanz eines in parabolischer Bahn gehenden Himmelskörpers gleich dem halben Parameter.

Endlich sei noch darauf hingewiesen, daß die Polargleichung der Ellipse (vgl. S. 198, Formel 6) aus dem Brennpunkte

$$r = p : (1 + \mathfrak{e} \cos v) \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

für die Parabel und Hyperbel gültig bleibt; nur hat man für jene $\mathfrak{e} = 1$, für diese $\mathfrak{e} > 1$ zu machen. Für die Parabel insbesondere erhält man zwischen der wahren Anomalie v und dem Radiusvektor r die Gleichung

$$r = p : (1 + \cos v) = \frac{1}{2} p \sec^2 \frac{1}{2} v. \; . \; . \; . \quad (6)$$

Die meisten Kometenbahnen dürften sehr excentrische, parabelähnliche Ellipsen sein; auch Hyperbeln mit Excentricitätswerten, die nicht viel größer als 1 sind, scheinen vorzukommen. Ist $\mathfrak{e} \lesseqgtr 1$, aber nahezu $\mathfrak{e} = 1$, dann kann man jede der Gleichungen (2) und (3) für geringe Werte von x ohne großen Fehler durch (4) ersetzen, weil in diesen Fällen $\frac{p}{a}$ sehr klein ist. Desgleichen kann man Formel (5) durch (6) ersetzen, solange v nicht zu groß wird; daß bei größern stumpfen Winkeln v der Fehler rasch wächst, zeigen die Formeln auch; denn für $v = 180^0$ wird r in der Ellipse gleich $p : (1 - e)$, in der Parabel aber gleich $p : 0 = \infty$.

Unsere Fig. 150 stellt, sogut es in einer Ebene angeht, die Bahnlage des berühmten Halleyschen Kometen dar, dessen Umlaufszeit 76 Jahre beträgt. Sein Perihel liegt in 305^0, sein aufsteigender Knoten in 55^0 Länge, während

die Neigung 162° beträgt. Der Komet ist also rückläufig. Es ist a = 17,99, $\mathfrak{e}$ = 0,967, also p = 1,178. Es ist eine nützliche Übung, sich nach diesen Angaben den Lauf des Kometen vorzustellen; das kann nicht schwer fallen, ist jedenfalls viel leichter, als die Ableitung der angegebenen Bahnelemente aus den geocentrischen Örtern gewesen ist. Natürlich schneidet die Kometenbahn die eingezeichneten Planetenbahnen nur auf dem Papier; sie liegt ja in einer eigenen Ebene.

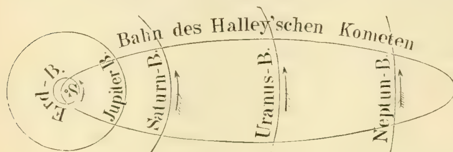


Fig. 150. Bahn des Halleyschen Kometen.

Nun kann man die Kometen immer nur dann sehen, wenn sie der Sonne und der Erde relativ nahe sind. So ist der Komet Halley jahrhundertelang regelmäßig alle 76,37 Jahre für einige Monate sichtbar gewesen, um dann für lange Zeit zu verschwinden. Die letzte Erscheinung fand 1835 statt, die nächste ist für 1911 zu erwarten. Jedesmal können wir dann nur den Lauf in der Nähe des Perihels beobachten.

Die vorhin angedeutete Beziehung zwischen den drei Kegelschnitten, wenn

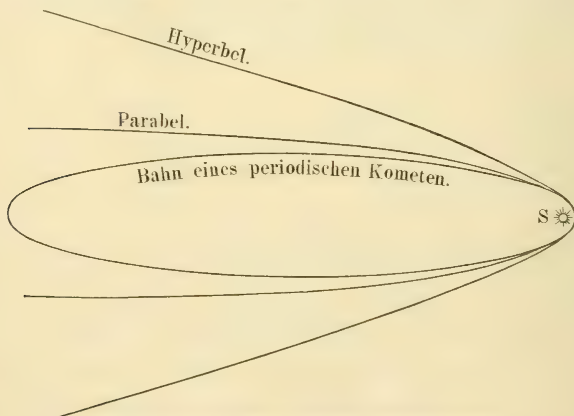


Fig. 151. Ellipse, Parabel und Hyperbel als Kometenbahnen.

nahezu $\mathfrak{e} = 1$ ist, stellt Fig. 151 dar, wo den drei gezeichneten Bahnen dieselbe Periheldistanz gegeben ist. Nennen wir sie q, so ist für die Parabel $p = 2q$, für die Ellipse $q = a(1 - \mathfrak{e}) = a(1 - \mathfrak{e}^2) : (1 + \mathfrak{e}) = p : (1 + \mathfrak{e})$; $p = q(1 + \mathfrak{e})$, also nahezu auch gleich $2q$; ebenso für die Hyperbel. Diese annähernde Gleichheit, verbunden mit der zuerst besprochenen, giebt

sich kund in der engen Berührung der drei Kegelschnitte im Perihel; die Zeichnung kann die Linien erst ziemlich spät auseinanderhalten.

Und nicht nur die Zeichnung, sondern auch die Beobachtung und Rechnung. Für einen ersten Überschlag kann man die Bahn eines beobachteten Kometen immer als parabolisch ansehen; man erhält dann, nach einer schönen, von Olbers angegebenen Methode die Bahnelemente, nämlich Knoten und Neigung, den Winkelabstand des Perihels vom Knoten und die Periheldistanz q, verhältnismäßig schnell und leicht schon aus drei geocentrischen Beobachtungen. Häufig zeigen dann die weitern Beobachtungen, daß die Bahn thatsächlich elliptisch ist, und man findet durch eine Verbesserung der parabolischen Elemente die große Halbachse und die Excentricität. Dadurch ist denn auch die Umlaufszeit auf Grund des dritten Keplerschen Gesetzes ermittelt. Man findet sie, den sehr großen Achsen entsprechend, manchmal gleich Jahrhunderten und selbst gleich Jahrtausenden. Daß solche Zahlen sehr unsicher sind, liegt auf der Hand. Entspricht z. B. die in Fig. 151 gezeichnete Ellipse einer Periode von 100^a, so können wir zwischen sie und die Parabel noch unzählig viele Ellipsen mit gleicher Periheldistanz, aber immer wachsender Excentricität und Umlaufszeit eingeschaltet denken; wir erhalten alle Umlaufszeiten von 100^a bis zur unendlich großen, d. h. bis zum Nimmerwiedersehen.

Daß ein Komet wirklich in einer mathematischen Parabel einhergehe, ist unendlich unwahrscheinlich, wie jede Anwendung einer bestimmten Strecke oder Gestalt auf die wirkliche Welt. Zudem könnte sich die Parabel auch nicht eine Minute als solche halten; die Störungen durch die Planeten würden sie sofort verzögernd in eine Ellipse oder beschleunigend in eine Hyperbel verwandeln. So erscheinen auch die Elemente eines periodischen Kometen bei jeder Wiederkehr ein wenig durch die Störungen geändert.

So excentrische und geneigte Bahnen würden andererseits auch den Grund zu sehr merklichen Störungen der Planeten durch die Kometen legen, wenn nicht zum Glück diese seltsamen Himmelskörper äußerst geringe Massen hätten. Mag ein Komet der Erde nahe kommen, er lenkt weder sie noch ihren Mond merkbar ab; mag er in die Asteroidenherde einbrechen oder, wie Lexells Komet, zwischen dem Jupiter und seinen Monden durchgehen: die Folgen trägt immer nur der Komet selbst, die andern Himmelskörper verhalten sich, als sei nichts geschehen. Ein Komet ist, wie man mit einigem Rechte sagt, un rien visible, ein sichtbares Nichts.

Während die Geschichte etwa 500 auffallend große, dem freien Auge sichtbare Kometen verzeichnet, ist mindestens eine ebenso große Zahl schwächerer seit der Erfindung der Fernrohre entdeckt worden. Bedenkt man die im allgemeinen ungünstigen Sichtbarkeitsbedingungen, so muß man, und zwar noch mehr als bei den Asteroiden, aus der großen Zahl der sichtbar gewordenen

auf eine noch vielmal größere Zahl von ewig unsichtbar bleibenden Kometen schließen. Schon Kepler hat i. J. 1608 diesen Gedanken ausgesprochen:

„Solcher Cometen halte ich der Himmel so voll sehe, als das Meer voller Fische ist. Daß man aber selten solcher Cometen ansichtig wird, geschicht wegen der vnermeßlichen Weite der himlischen Lufft, daher es kömpt, daß nur allein diejenige gesehen werden, welche nechst nebens des Erdbodens in der himlischen Lufft fürüberschießen; währen oft viel länger, denn man sie siehet; allein weil sie von der Erden hindan schießen, werden sie je lenger je kleiner vnd endlich unsichtbar, vnd kompt mehrertheils die Sonne oder der Tag vber sie, daß sie sich alsdann verlieren, da wir nicht wissen, wie, ob sie verleschen, zerspringen, zerstrewet oder gar zu nicht werden."

Zu Ende des Jahres 1892 waren merkwürdigerweise nicht weniger als sieben Kometen auf einmal sichtbar, davon einer (Komet Holmes) mit freiem Auge.

Die Elemente der bis jetzt in mehr als einer Erscheinung beobachteten periodischen Kometen enthält folgende Tafel:

Komet.	Letzter Periheldurchgang.	Knotenlänge.	Neigung.	Perihel.	Große Halbachse.	Excentricität.	Umlaufszeit.
Encke	1888, VI 28.	335°	13°.	159	2,22	0,845	3ᵃ,31
Tempel 2.	89, II 2.	121	13	306	3,01	0,550	5,21
Brorsen	90, II 23.	101	29	116	3,10	0,810	5,46
Tempel 3.	86, V 9.	297	5	43	3,12	0,656	5,51
Winnecke [1]	86, IX 4.	104	15	276	3,23	0,726	5,82
Tempel 1.	85, IX 25.	72	11	241	3,49	0,405	6,51
Biela	52, IX 23.	246	13	109	3,53	0,755	6,59
d'Arrest	90, IX 17.	146	16	319	3,55	0,627	6,63
Wolf	84, XI 17.	206	155	19	3,57	0,560	6,8
Faye	81, I 22.	210	11	51	3,85	0,549	7,57
Tuttle	85, IX 11.	270	54	116	5,74	0,822	13,76
Pons	84, I 25.	254	74	93	17,24	0,955	71,58
Olbers	87, X 8.	85	45	150	17,41	0,931	72,63
Halley	35, XI 15.	55	162	305	17,99	0,967	76,37

Als „Perihel" ist, wie bei den Planeten, die um den Abstand des Perihels vom aufsteigenden Knoten vermehrte Knotenlänge angegeben. Man versuche für einige dieser Kometenbahnen die Ellipse zu zeichnen und zu einem Kreismodelle der Erdbahn in die richtige Lage zu bringen. Beim Bielaschen Kometen muß nahezu eine Bahnkreuzung herauskommen.

* * *

Das Aussehen der Kometen ist sehr verschieden von dem der Planeten und Trabanten. Teleskopische und überhaupt lichtschwache Kometen erscheinen häufig als mehr oder weniger gut begrenzte Nebelmassen. So der in Fig. 152 dargestellte sehr merkwürdige Komet, den 1892, November 6. E. Holmes in London mit freiem Auge in der Nähe des großen Andro-

[1] Periheldurchgang steht für 1898, März 20. bevor; Komet bereits sichtbar.

meda-Nebelfleckes aufgefunden hat. Der helle elliptische Fleck oben rechts ist der Andromeda-Nebel selbst, ein Gebilde, das nicht dem Sonnensystem, sondern dem fernen Weltraume angehört. Das helle Gebilde, dessen Centrum etwa 40 mm vom linken und 11 mm vom untern Rande des Bildes absteht, ist der Komet selbst, der zur Zeit der Aufnahme der Photographie (1892, November 10. auf Mount Hamilton) heller als der Nebelfleck war. Den hellen Kometenkern umgiebt eine neblige Hülle, die Koma[1] — daher der

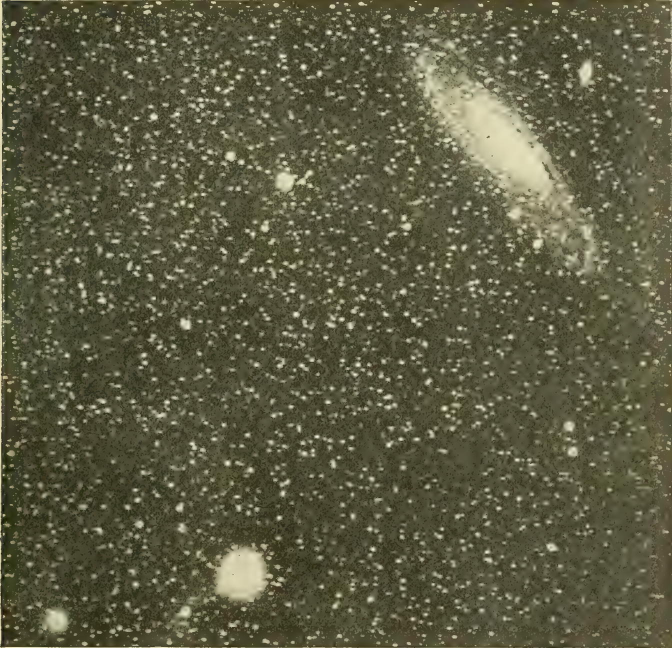


Fig. 152. Holmes' Komet und der Nebelfleck in der Andromeda. Nach einer Aufnahme von E. E. Barnard. (Aus der Zeitschrift „Himmel und Erde", Verlag von Herm. Paetel, Berlin.)

Name Komet[1] —, und bei aufmerksamem Zusehen bemerkt man, daß vom Kern aus nach unten links eine schweifartige Verlängerung zu einem zweiten, etwa 11 mm vom Centrum des ersten abstehenden Kerne leitet. Alles übrige auf dem Bilde gehört der Fixsternwelt an und ist viel weiter vom

[1] Κόμη, das Haar, als Dichterwort im Lateinischen (z. B. *Horat.* Carm. 1, 21) in übertragenem Sinne gebraucht; auch in der Prosa vorkommend. — *Κομήτης*, Haarstern.

Beobachter entfernt als der auf derselben Platte photographierte Komet. Dieser selbst bildet insofern einen wirklichen oder scheinbaren Übergang zu den Planeten, als er sich mit der relativ geringen Neigung von 21° und der ebenfalls für dieses Gebiet nicht allzu großen Excentricität 0,4 zwischen den Bahnen des ♂ und ♃ in etwa sieben Jahren um die Sonne bewegt; man hat — ob mit Recht, ist vorläufig nicht zu sagen — sein unvermitteltes Aufleuchten als Ergebnis eines Zusammenstoßes im Asteroidengürtel deuten wollen.

Wenn ein Komet der Sonne näher kommt, so entwickelt sich nach und nach, gewöhnlich auf der von der ⊙ abgewandten Seite, der Schweif. Die hierbei auftretenden Erscheinungen sind höchst seltsam. An dem von Donati 1858, Juni 2. entdeckten Kometen Fig. 153, für welchen $q = 0{,}578$, $\mathfrak{e} = 0{,}996$, $a = 156$, die Umlaufszeit $= 1950^a$, die Neigung $= 117^0$ ist[1], bemerkte man zur Zeit der höchsten Ausbildung einen fixsternähnlich glänzenden Kern, von dem Ausströmungen sonnenwärts zu gehen schienen. In einigem Abstande vom Kerne bemerkt man die aus drei Nebelhüllen bestehende Koma; diese Hüllen biegen nach der der ⊙ entgegengesetzten Seite um und verlängern sich in einen Schweif, der rechts und links weit heller ist als in der Mitte, so daß er recht gut mit einer hohlen, vom Sonnenlichte durchstrahlten Wolke verglichen werden kann; offenbar wird auch eine solche an den Rändern heller erscheinen als in der Mitte. Die äußere Begrenzung des Gebildes kann man durch Rotation einer Parabel um ihre Achse entstanden denken; eine solche Fläche ist in der Mathematik als Konoid[2] oder Rotationsparaboloid bekannt. Der Kern scheint nicht weit vom Brennpunkte der erzeugenden Parabel zu stehen. Es ist merkwürdig, daß dieselbe Kurve, der die Kometenbahnen ähnlich sind, auch in den Kometengestalten wiederzukehren scheint; der Grund ist hier wie dort ein nach dem Verhältnisse des umgekehrten Quadrates der Entfernung wirkendes Gesetz, wie sich noch zeigen wird.

Jene drei Nebelhüllen scheinen Gleichgewichtsflächen darzustellen, und man hat auch bei einigen Kometen ihre Fortsetzung in den Schweif hinein bemerkt; dieser erschien zusammengesetzt aus mehreren Paraboloiden mit gemeinsamer großer Achse und mit dem Kern als gemeinsamem Brennpunkte. Die mehrfachen Schweife, die man bei ältern Kometen, so bei dem i. J. 1743, Dezember 9. von Klinkenberg entdeckten und in Fig. 154 dargestellten, beobachtet hat, dürften ähnlich zu erklären sein.

Die Schweife wachsen mit der Annäherung an die Sonne, und ihre Längenausdehnung kann Hunderte von Millionen Kilometern betragen. Nach

---

[1] Also ein rückläufiger Komet mit sehr großer Bahnneigung, der im Perihel näher bei der ⊙ ist als ♀, im Aphel über zehnmal so weit wie ♆. Umlaufszeit und Bahnhalbachse sind mit der S. 455 angedeuteten Unsicherheit behaftet.

[2] Conus, der Kegel, stammt von κῶνος, das außerdem auch den Kreisel, den Zapfen eines Nadelbaumes u. s. w. bedeuten kann.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 458.

Fig. 153. Donatischer Komet (1858).

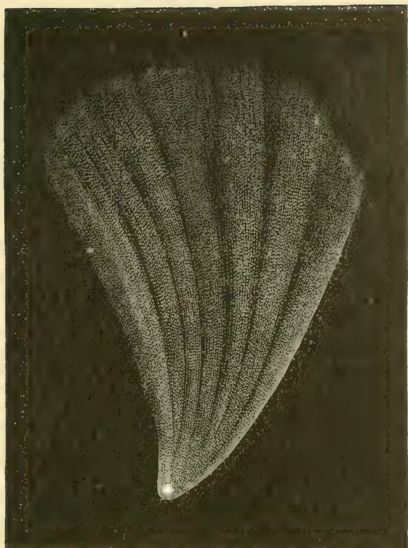


Fig. 154. Komet Klinkenberg (1744).





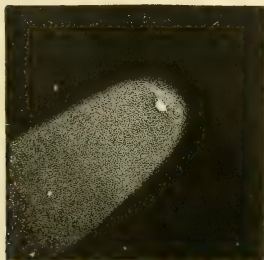




Fig. 155. Verschiedene Gestalten des großen Kometen von 1835.

dem Periheldurchgange wachsen sie meistens noch etwas, verlieren sich aber am Ende; und wenn ein periodischer Komet bei seiner Rückkehr zuerst wieder sichtbar wird, ist er gewöhnlich nahezu schweiflos; es beginnt dann eine neue Schweifentwicklung. — In Fig. 155 geben wir noch die verschiedenen Gestalten wieder, die der große Halleysche Komet in seiner Erscheinung von 1835 gezeigt hat.

Während die Masse eines Kometen gegenüber der eines Planeten verschwindend klein ist, gilt dasselbe von der Schweifmasse im Vergleich zur Masse des Kernes. Das folgt aus der Bewegung des Kometen. Für einen Planeten mit meßbarer Scheibe, z. B. ♃, darf man den geometrischen Mittelpunkt der Scheibenellipse als Schwerpunkt ansehen, in welchem man sich die ganze Masse vereinigt denken kann; die Ergebnisse der Beobachtung bestätigen immer die Richtigkeit dieser Annahme. Bei Kometen aber, wo von einem geometrischen Centrum nicht geredet werden kann, genügt es, die Stellung des hellsten Kernpunktes an der Sphäre regelmäßig zu ermitteln, und man bekommt durch die Rechnung eine Bahn, die sich den Beobachtungen gut anschließt. Wiche bei der mächtigen Größen- und Gestaltsveränderung, die der Komet zur Zeit seiner Sichtbarkeit erfährt, der Schwerpunkt irgendwie von diesem optischen Mittelpunkt ab, so müßte sich das durch Abweichungen kundgeben. Also ist die Schweifmasse gleich null zu setzen selbst gegenüber der so geringen Kernmasse, und trotzdem breitet sie sich manchmal über Gebiete aus, die nicht mit den Planeten selbst, sondern mit den Bahnen der innern Planeten von einer Größenordnung sind. Demzufolge können wir uns nichts Zarteres und Dünneres als einen Kometenschweif vorstellen; die Gasreste in unsern Röntgenröhren müssen dagegen als ungemein dicht erscheinen.

Daß auch die Kerne äußerst locker sind, geht daraus hervor, daß man durch sie, und nicht nur durch die Schweife und Nebelhüllen hindurch, selbst schwächere Fixsterne sehen kann, und zwar ohne Ablenkung und mit einer so geringen Glanzverminderung, daß diese anscheinend ein rein subjektives Phänomen ist. Da nun das Licht, welches uns die Kerne zusenden, im Spektroskop als zurückgeworfenes Sonnenlicht erkannt wird, so haben wir uns einen Kometenkern anscheinend als ein staubartiges Gebilde vorzustellen, das aus vielen kleinen und festen, durch weit größere Zwischenräume getrennten Körpern besteht. Die einzelnen Körperchen mögen, gleich vielen unserer Mineralien, Flüssigkeiten und Gase eingeschlossen halten. Ein Stoff wie das Wasser wird in Abständen, wie sie die meisten Kometen im Aphel erreichen, und auch lange vorher und nachher, nur in festem Zustande bestehen können.

Nun kommt eine solche Staubwolke von festen Teilchen der heißen Sonne immer näher. Alsbald beginnt eine lebhafte Schmelze und Ver-

dampfung auf den Bestandteilen, deren Größe sehr verschieden sein mag. Jedenfalls werden die einzelnen Körper auf der Sonnenseite die stärksten Veränderungen durchmachen; hier werden sich Dampfwolken oder Rauchsäulen sonnenwärts erheben. Sie werden scheinbar vom Kometenkerne abgestoßen; in Wahrheit ist es die Wärme, welche sie durch Vermehrung der Spannkraft der gasförmigen Teile immer weiter in die Höhe treibt. Da die widerstehende Schwerkraft auf den Kometen äußerst klein ist, wird dieses Aufsteigen mit großer Schnelligkeit stattfinden.

Während nun hierdurch die Entstehung einer sonnenwärts gerichteten Koma wohl begreiflich wird, muß es auf den ersten Blick überraschen, daß die Dampfteilchen in gewissem Abstande vom Kerne umkehren und den der Sonne opponierten Schweif bilden. Nach den scharfsinnigen Untersuchungen von Olbers und Bessel liegt hier eine abstoßende Kraft der Sonne vor, die man am besten als elektrische Abstoßung deutet. Daß bei Verdampfungen Elektricität frei wird, lehrt uns auf Erden das Gewitter und die Hydro-Elektrisiermaschine; daß die Sonne ein hohes elektrisches Potential besitzen muß, scheinen die Vorgänge in der Corona zu beweisen. Ist die Ladung der Sonnenoberfläche mit der der verdampften Kometenteilchen gleichnamig, dann muß ein Teilchen, welches nicht ganz genau sonnenwärts aufgestiegen ist, in irgend einer Gegend durch die solare Repulsion zum Umbiegen gezwungen und in den Raum hinausgestoßen werden. Es wird dann eine Hyperbel beschreiben, die sich, je stärker die elektrische Abstoßung im Vergleich zur Sonnenanziehung ist, einer geraden Linie mehr oder weniger nähern und nahe beim Kometen von einer Parabel nicht sehr verschieden sein wird. Die gewöhnliche Sonnenanziehung, welche wir kurz die Schwere nennen wollen, wirkt auf alle Teilchen, wenigstens in der Nähe des Kernes, auf gleiche Weise beschleunigend, da sie der Masse des angezogenen Körpers proportional ist; nicht so die elektrische Abstoßung, die auf dichtere Körper schwächer beschleunigend wirken wird. Die verschiedenen Komahüllen erklären sich so vielleicht; Bredichin hat sogar auf Grund der Schweifbildung die Kometen in drei Klassen geteilt und wahrscheinlich zu machen gesucht, daß bei der einen die Schweife aus dem sehr leichten Wasserstoffgase bestehen, bei der zweiten aus schwererem Kohlenwasserstoffgase, bei der dritten aus dem sehr schweren Eisendampfe. Das Linienspektrum des Kohlenwasserstoffgases zeigen fast alle Kometen; es ist über das Sonnenspektrum gelagert.

Die abgestoßenen Teilchen gehen in der Hauptsache dem Kometen unwiederbringlich verloren. Denn wenn ihr Abstand von der ☉ merklich größer als der des Kometen von der ☉ geworden ist, müssen sie ganz andere Bahnen beschreiben als die Hauptmasse, und da in dem Kometenschweif selbst weder Kohäsion noch merkliche Eigenschwere besteht, so trennen sie sich immer mehr von der Hauptmasse.

Mit Recht hat Bessel hervorgehoben, daß bei jener Abstoßungskraft der Sonne die gewöhnliche Anziehung nach wie vor bestehen bleibt. Für jede Repulsion tritt eine entgegengesetzt gleiche vergrößerte elektrische Anziehung auf, die ihrerseits den Kern auf die Sonne zutreibt, also die Newtonsche Anziehung noch verstärkt. Während aber bei jenen kleinen Teilchen die Repulsion die Attraktion überwiegt, ist bei der Hauptmasse die letztgenannte Kraft so viel größer, daß keine merkliche Unregelmäßigkeit im Laufe entsteht. Man beachte immer, daß wenigstens im Anfange die bewegenden Kräfte, welche die Newtonsche Anziehung auf Kern und Koma ausübt, sehr verschieden sind, die beschleunigenden Kräfte aber gleich; hingegen sind bei der elektrischen Wirkung die bewegenden Kräfte sich gleich, aber die beschleunigenden verschieden. — Bessel hat an dem Halleyschen Kometen in der Erscheinung von 1835 auch merkwürdige pendelnde Bewegungen der Ausströmungsstrahlen um eine feste Linie wahrgenommen. Die Schwingungsebene war die der Bahn, die Schwingungszeit betrug 4 bis 5^d. Auch diese Bewegungen erklärte er in einer scharfsinnigen Untersuchung durch die abstoßende Kraft der Sonne[1].

Daß die elektrische Reaktion, die der Kern erleidet, seine Bahn thatsächlich verändern muß, unterliegt keinem Zweifel und ist auch schon von Bessel betont worden. Die Newtonsche Anziehung wird den der ☉ genäherten Kern noch kräftiger fassen; er wird eine engere Bahn beschreiben als vorher, eine Bahn mit kleinerer Hauptachse. Welche Bedingung muß erfüllt werden, damit diese Bahnverkürzung möglichst auffallend werde? Offenbar muß die Bahn an sich schon eng sein, weil auf einem sonnennahen Kometen die Verdampfung lebhaft vor sich geht, die Zerreißung auf elektrischem Wege ebenfalls, und weil endlich hier ein kleiner Antrieb zur Sonne hin viel ausmacht. Hierfür scheint der Enckesche Komet ein Beispiel darzubieten; seit dem Ende des 18. Jahrhunderts bekannt, hat dieses kleine, unauffällige nebelartige Gebilde die sehr kurze Umlaufszeit von $3^a{,}3$, die kleinste unter allen bekannten Kometen. Das Aphel ist im Sonnenabstand 4,10, also innerhalb der Ceresbahn gelegen, das Perihel in 0,34, also noch innerhalb der Merkursbahn. In der That fand Encke aus seiner Bearbeitung vieler Periheldurchgänge eine anscheinend regelmäßig fortschreitende Verkürzung der Umlaufszeit und Verengung der Bahn dieses Haarsternes. Er glaubte sie aber durch ein widerstehendes Mittel erklären zu sollen. Ist nämlich der Raum des Sonnensystems nicht leer, sondern mit irgend einer sehr fein verteilten Masse erfüllt, so muß diese alle Planeten und Kometen in ihrem Laufe aufhalten. Ein so gehemmter Himmelskörper fällt stärker zur Sonne hin,

[1] Dagegen sind die schon von Kepler beschriebenen zuckenden Verlängerungen und Verkürzungen der Schweife, woraus man auf heftige Bewegungen von unbegreiflicher Schnelligkeit hat schließen wollen, anscheinend genugsam erklärbar durch Änderungen in der Durchsichtigkeit unserer Atmosphäre.

weil seine tangentiale Geschwindigkeit vermindert wird, während die Newtonsche Anziehung fortwirkt. Er verkürzt also seine Bahn und beschleunigt, trotz des Hindernisses, seinen Umlauf, bis er schließlich in die Sonne stürzt.

Backlund und noch früher von Asten haben Gründe beigebracht, die mehr für Bessels Erklärung der beständigen Abnahme der Umlaufszeit jener Kometen sprechen als für Enckes Ansicht. Es ist möglich, daß die beiden Ursachen zusammenwirken; denn für eine Erfüllung des Weltenraumes mit feiner Materie sprechen auch manche Thatsachen; man wird ihre Wirkung am ersten noch an den Kometen beobachten können, weil die schweren Planeten mit ihrer großen lebendigen Kraft und geringen Raumausfüllung den Widerstand viel leichter überwinden müssen; und unter den Kometen werden zunächst solche in Betracht kommen, deren Bahnen an sich eng sind, weil sich jedenfalls, wie auch die Erscheinungen der Corona und des Zodiakallichtes andeuten, die Materie nach der Sonne zu aufhäufen wird.

Im Sinne der Besselschen Theorie hat von Asten auch noch hervorgehoben, daß je nach dem wechselnden thermischen und elektrischen Zustande der Sonne, wie er sich z. B. in der elfjährigen Fleckenperiode ausspricht, die physikalischen Wirkungen auf den Kometen verschieden stark ausfallen werden; hierdurch würden sich die beobachteten Unregelmäßigkeiten in der Verkürzung der Umlaufszeit erklären lassen. Übrigens beträgt die ganze Verkürzung im Mittel nur $2^1/_2{}^h$ auf etwa $1200^d = 28\,800^h$, also nicht ganz 0,0001 der Periode.

Das widerstehende Mittel wird die Schweife noch weiter zerstreuen, als es schon durch die elektrischen Kräfte sowie durch die etwaigen Anziehungen benachbarter Planeten geschieht.

Der große Komet Coggia, III 1874, bot eine Zeitlang das merkwürdige Schauspiel, daß der Kopf unter, der größte Teil des Schweifes über dem Horizonte stand. Unsere Fig. 156 giebt seinen Lauf und seine Gestalten nach den Beobachtungen von Heis wieder; vom 17. bis zum 20. Juli sind die Örter durch Rechnung festgestellt und danach die Schweife ergänzt. Die angegebenen Sonnenörter zeigen das Gesetz der Abkehrung des Schweifes von der Sonne [1].

Die Ansichten über die Natur der Kometen erfahren eine besondere Beleuchtung und Bestätigung durch die Beobachtungen, welche man an den Meteoren angestellt hat.

---

[1] Zugleich ist das Kärtchen ein hübsches Beispiel für den centrischen oder gnomonischen Entwurf, wo der Augenpunkt mit dem Centrum der Sphäre zusammenfällt. Es erscheinen alle Hauptkreise als gerade Linien: die den verschiedenen Tagen entsprechenden Mitternachtshorizonte, die Deklinationskreise, die Ekliptik, nahezu auch der scheinbare Lauf des Kometen, der in der That vom Hauptkreise nicht sehr abwich; endlich ebenfalls nahezu die Schweifgrenzen.

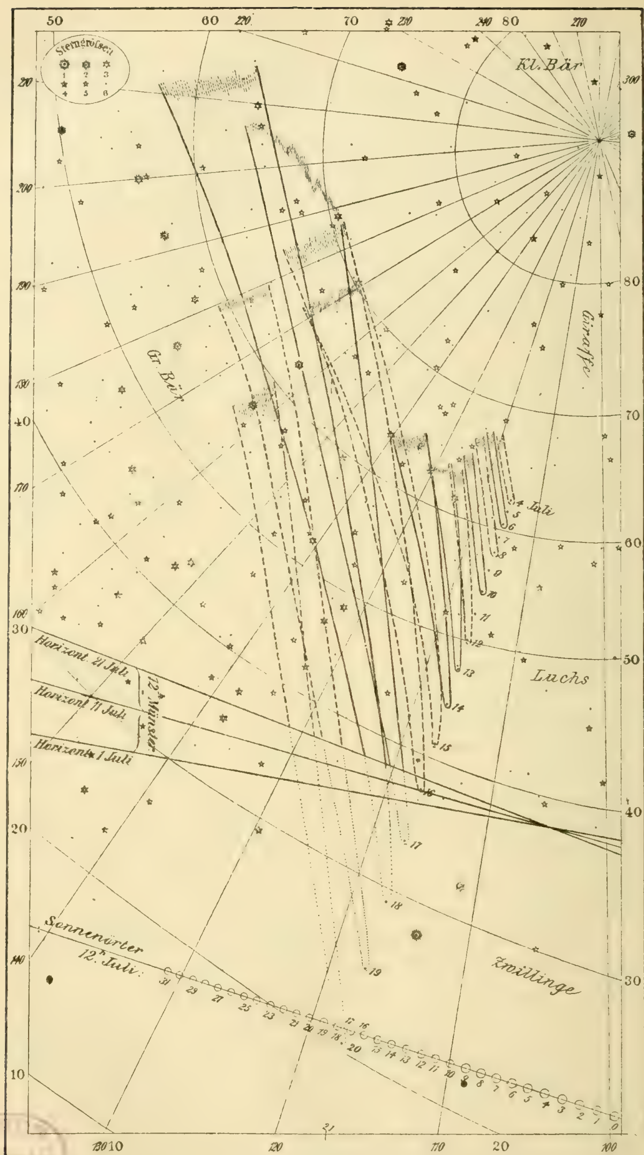


Fig. 156. Komet III 1874, Coggia, beobachtet zu Münster Juli 1874 12h und eingetragen nach gnomonischer Projektion von E. Heis.

Zweiunddreißigstes Kapitel.

Die Meteoriten und ihr Zusammenhang mit den Kometen.

Bei früherer Gelegenheit (S. 340—341) ist schon gesagt worden, daß sich die Astronomie die Meteore lange Zeit hat entgehen lassen, obschon sie, wenn man nur gute Sternkarten besitzt, auch von Ungeübten ziemlich leicht beobachtet werden können.

Als Meteore[1] hat man lange Zeit alle auffallenden Erscheinungen am Himmel bezeichnet, auch die Wettererscheinungen; hieran erinnert der Name Meteorologie. In der Beschränkung, worin wir jetzt das Wort gebrauchen, bezeichnet es mehr oder weniger sternartige Punkte, die am Himmel plötzlich auftauchen, sich rasch bewegen und nach Sekunden oder Bruchteilen solcher wieder verschwinden. Gegenüber den wohlklingenden Bezeichnungen anderer Sprachen[2] nimmt sich das deutsche Wort Sternschnuppe nicht eben gut aus; es erinnert an die häßliche Arbeit des Talglichtputzens. — Von der Falschheit der ganz naiven Auffassung, als löse sich wirklich ein vordem sichtbar gewesener Fixstern ab, um zu vergehen, überzeugt sofort der Einblick in die Sternkarte und in das eigene Gedächtnis nach einem starken Meteorschauer. Goethe hat diese Volksmeinung, an die sich noch allerhand Aberglauben knüpft, in seinem Egmont[3] angedeutet.

Zu richtigen Ansichten über das Wesen der Meteore kann man nur auf Grund zahlreicher, planmäßiger Beobachtungen gelangen, wie sie erst seit dem Ende des 18. Jahrhunderts angestellt worden sind. Man beobachtet hauptsächlich in den Nächten, wo erfahrungsgemäß viele Sternschnuppen fallen, in erster Linie um den 10. August; doch ist es wichtig, das Phänomen auch zu Zeiten größerer Ruhe beobachtend zu verfolgen. Was sich an der einzelnen Erscheinung für gewöhnlich bemerken läßt, läßt der nachfolgende (S. 466) kleine Auszug aus des Verfassers Beobachtungsverzeichnis erkennen.

Hier ist Nr. die laufende Nummer des Verzeichnisses. Als Zeit ist die mittlere Ortszeit gewählt; man zieht neuerdings aus guten Gründen gerade für diesen Zweck die überall leicht erhältliche M. E. Z. vor. Es ist

---

[1] *Τὰ μετέωρα* von *μετά* und *ἀείρω*. Ihre Beobachtung wurde bekanntlich dem Sokrates als Verbrechen angerechnet.

[2] Ital. stella cadente, span. estrella fugace, franz. étoile filante, holländ. vallende ster, engl. shooting, falling star. — Die Volkssprache hat in einigen Gegenden Deutschlands das schöne alte Wort Heerbrand (= Höhenbrand) für glänzende Feuerkugeln bewahrt.

[3] Im vierten Aufzuge sagt Jetter: „Er (Egmont) ist so sicher wie der Stern am Himmel", worauf Vansen antwortet: „Hast du nie einen sich schneuzen gesehen? Weg war er!"

Warendorf 1890, August 9. (Breite + 51° 57′, Länge 8° 0′ östl. v. Gr.).

Nr.	Zeit.	Anfang.	Ende.	M.	S.	Farbe.	Bemerkungen.
670	9 15	15° + 57°	352° + 51°,5	2	S	bläulich	Br.
671	9 37,5	264 + 58	34 + 46	F	0	grün *	F., Br., Pl. — * In rote Funken zerspringende Feuerkugel, langsam.
672	9 45	2,5 + 58	341 + 52,5	2	0	bläulich	Br.
673	9 46	36 + 61	24 + 51	1	0	weiß	Br., Pl.
674	9 47	4 + 61,5	332,5 + 62	3	S	bläulich	Br. — Sehr schnell.
675	9 48,5	20,5 + 42,5	8,5 + 34	2	S	bläulich	Br.
676	9 53,5	359,5 + 18	348 + 16	5	S	weiß	Br., Pl. — Schnell.
677	9 55	139 + 69,5	155 + 53,5	4	0	bläulich	F. — Ziemlich schnell.
678	9 56,5	24 + 65	10 + 72,5	2	S	bläulich	F., Br. — Langsam, S. anhaltend.
679	10 1,5	28 + 44,5	15,5 + 32	♀	S	weiß	Br.
680	10 2,5	350 + 15	343 + 3,5	5	0	bläulich	Br. — Langsam.
681	10 4	200 + 60	208 + 50	4	S	bläulich	F. — Ziemlich schnell, schwacher S.
682	10 9	151 + 77	155 + 67,5	5	S	bläulich	F. — Mäßig schnell, kleiner S.
683	10 13,5	358 + 66,5	315 + 65	2	S	weiß	Br. — Sehr schnell.
684	10 22	265 + 27	257,5 + 6	♃	S	?	Pl. — S. dauert 2ˢ.
685	10 22	354 + 61,5	32 + 64,5	5	0	blau	Br. — Schnell.
686	10 24,5	359 + 56	11,5 + 54,5	2	0	bläulich	Br. — Sehr kurz.
687	10 27	335,5 + 51	326 + 39	3	0	gelblich	Ht.
688	10 28,5	9 + 62,5	338 + 58,5	1	S	gelblich	Br.
689	10 34	7,5 + 21	357 + 2,5	♀	S	?	Br., L., Pl. — Farbe verschieden angegeben. S. dauert 2ˢ.

im allgemeinen zu wünschen, daß Sekunden notiert werden; die Zeitangaben müssen für Stand und Gang der Uhr verbessert sein. — Unter M (magnitudo) steht die sogen. Größe des Meteors, also die Helligkeit nach der bekannten Skala der Sterngrößen. Hier hat man, außer bei teleskopischen Beobachtungen, die manchmal recht interessant sind, im allgemeinen nicht nötig, unter 5 herabzugehen. Dagegen sind viele Meteore erster Größe so hell, daß man sie durch die Angabe ♃ oder ♀ mit dem allbekannten Glanze dieser Planeten vergleichen muß. Meteore, die die Maximalhelligkeit der ♀ (vgl. S. 350) merklich übertreffen, werden als Feuerkugeln durch F bezeichnet[1]. Gewöhnlich ist an ihnen noch sonst die eine oder andere merkwürdige Erscheinung wahrzunehmen; man giebt solche unter den Bemerkungen an, wie bei Nr. 671. Die dort stehenden Signaturen Br. u. s. w. deuten die Namen

[1] Der Name Feuerkugeln wird hie und da auch wohl für die Kugelblitze gebraucht, die mit den Meteoren nichts zu thun haben.

der Beobachter an; es ist nämlich von Nutzen, die Arbeit des Beobachtens an meteorreichen Abenden unter mehrere Personen zu teilen; aber in Rücksicht auf den Einfluß der Subjektivität thut man dann gut, die Namen mitzuvermerken, um das richtige Ableiten von Ergebnissen, z. B. in Rücksicht auf die Farben, zu ermöglichen. Diese werden am besten, wie auch hier geschehen, in einer besondern Spalte mitgeteilt. Der Buchstabe S bedeutet den bei den meisten Meteoren für kurze Zeit zurückbleibenden Schweif, den der Ungeübte nicht mit der auf der Fortdauer des Lichteindruckes im Auge beruhenden hellen Linie verwechseln darf. Ein richtiger Meteorschweif ist fast immer mehr oder weniger perlschnurartig oder nebelig. Hat das Meteor keinen Schweif gehabt, so steht eine Null in der mit S überschriebenen Spalte, sonst ein S. Besondere Eigenschaften der Schweife, namentlich ein auffallend langes Zurückbleiben, werden in den Bemerkungen mitgeteilt; siehe Nr. 678, 684, 689.

Die Angabe der scheinbaren Bahn ist die wichtigste. Sie geschieht durch Aufzeichnung der sphärischen Örter der Anfangs- und Endpunkte, und zwar entweder nach Azimut und Höhe, wofür man besondere theodolitenähnliche kleine Instrumente, die Meteoroskope ersonnen hat, oder, und zwar nach unserer Überzeugung einfacher und sicherer, nach RA und Decl durch Eintragung in Sternkarten. Solche Karten sind früher von Heis und andern eigens für diesen Zweck angefertigt worden, aber nahezu vergriffen. Die Vereinigung von Freunden der Astronomie und kosmischen Physik hat vor einigen Jahren Herrn Dr. Rohrbach in Gotha mit der Herstellung neuer Karten für Sternschnuppen- und Zodiakallicht-Beobachtungen betraut; diese Karten[1] tragen in Bezug auf Brauchbarkeit und Wohlfeilheit allen Anforderungen Rechnung.

Ein gemeinsamer Beobachtungsabend wird am besten in einem frei liegenden, gegen Störung gesicherten Garten oder auf einem flachen Dache veranstaltet. Jede der vier Haupthimmelsgegenden, womöglich auch das von einem Lehnsessel aus zu beobachtende Zenithalgebiet, wird einem besondern Beobachter anvertraut. Jeder hat von den ihm nötigen wohlfeilen Karten mehrere Exemplare vor sich. Einer von der Gesellschaft ist Schriftführer; wo es sich machen läßt, mutet man ihm nicht gleichzeitig auch das Beobachten zu. Wer ein Meteor in seinem Gebiete bemerkt, giebt das durch einen Ruf kund; der Schriftführer, vor dem ein Formular mit Nr., Zeit, M, S u. s. w. liegt, sieht dann sofort auf die Uhr, notiert die Sekunde und Minute und giebt dann dem Beobachter die fällige Nummer an. Gleichzeitig verlangt

[1] Sie sind bei F. Dümmler in Berlin erschienen und werden an Mitglieder der genannten Vereinigung noch wohlfeiler abgegeben als an andere Personen. Es ist besonders zu bemerken, daß sie auch den südlichen Himmel enthalten.

er von ihm die Angaben über M, S, Farbe u. s. w., die jener ihm während des Einzeichnens macht. Das Einzeichnen lernt sich sehr schnell; hat man der Karte zu Beginn der Arbeit die Stellung gegeben, welche der des Himmels entspricht[1], so ist es leicht, die Richtung, worin ein Meteor etwa das Viereck des Großen Bären oder des Pegasus durchlaufen hat, auf der Karte durch einen Pfeil anzugeben, dessen Spitze natürlich den Endpunkt bezeichnet. An diese Spitze setzt man auch die Nummer, wobei man sich vor Verwechslungen hüten muß.

Später, etwa am nächsten Tage, werden die Beobachtungen in ein neues Verzeichnis eingetragen, und man giebt den Anfangs- und Endpunkt jeder Bahn einfach, dem eingezeichneten Pfeile gemäß, nach RA und Decl an. So war für den Anfangspunkt des Meteors 670 in dem obigen Verzeichnis RA = 15°, Decl = + 57°, für den Endpunkt RA = 352°, Decl = + 51°,5; jener lag also zwischen α und φ Cassiopeiae, etwas näher bei α, dieser etwas rechts von der Linie τ Cassiopeiae — λ Andromedae. Im allgemeinen ist auch in sternreichen Gegenden für gute Beobachter ein halber Grad das Genauigkeitsmaximum. Damit die von der Eigenart der Erscheinung herrührenden Fehler nicht unnütz vergrößert werden, gebe man das Aequinox der Karte an (in obigem Verzeichnisse 1880,0)[2]. — Südliche Decl wird, wie üblich, durch das Minuszeichen angedeutet.

Auch gelegentlich beobachtete Meteore sind von Wert, wenn sie gut notiert sind. Glänzende Feuerkugeln, die manchmal knallend zerspringen und Trümmer auf die Erde fallen lassen, werden öfter beobachtet, als man denkt. Leider zersplittern sich die meistens von Unkundigen herrührenden ungeschickten Mittheilungen darüber gewöhnlich in den provinziellen und vermischten Nachrichten kleiner und großer Zeitungen. Es ist für gebildete Leute auf dem Lande, in erster Linie für Geistliche, Volksschullehrer, Forstbeamte und Ärzte, eine schöne Aufgabe, solche Notizen durch geeignete Nachfrage wertvoller zu machen und sie einer Stelle zuzuführen, wo ihre wissenschaftliche Verwendung gesichert ist[3].

Wurden an mehreren Orten gleichzeitig Beobachtungen der Meteore an reichlichern Abenden, z. B. im August, angestellt, und ist die Zeitbestimmung gut, so bemerkt man bei späterer Vergleichung bald die auffallende Thatsache, daß neben vielen Meteoren, die nur an je einem Orte wahrgenommen

---

[1] Etwa sichtbare hellere Planeten hat man vorher eingetragen.

[2] Rohrbach hat seinen Karten kein Gradnetz gegeben, um Fehler beim Einzeichnen zu verhüten. Die Entnahme der Koordinaten aus den Meteorkarten wird an einer Centralstelle, der Königlichen Sternwarte in Berlin, besorgt.

[3] Am besten der centralen Sternwarte des Reiches, also, je nachdem, Berlin oder Wien.

wurden, eine Reihe anderer, vorzüglich hellerer, gleichzeitig an zwei oder mehreren Orten wahrgenommen ist. Der Nachweis der Identität ist als gelungen zu betrachten, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind: 1. Die Zeiten müssen innerhalb der anzunehmenden Fehlergrenzen stimmen. 2. Die Bahnen müssen so liegen, daß sie überhaupt demselben Meteor angehören können. Hat z. B. Berlin ein Meteor im O. beobachtet, Spandau gleichzeitig eines im W., so kann von Identität nicht geredet werden. 3. Die Größenangaben müssen wenigstens annähernd stimmen: hat man hier M = 2, dort M = ♀ notiert, so sind die Erscheinungen kaum identisch gewesen; das ist aber ceteris paribus noch möglich, wenn hier M = 1, dort M = ♃ notiert ist. 4. Von den Farben und Schweifen wie auch den sonstigen physikalischen Kennzeichen gilt dasselbe: sie müssen annähernd stimmen. Ist z. B. hier das Vorhandensein, dort das Fehlen eines S. bei einem schnell gehenden und nicht allzu hellen Meteor notiert worden, so kann noch Identität bestehen; aber bei langsam laufenden oder sehr hellen Meteoren muß man sich vorsehen. Die Farbenangaben sind sehr subjektiver Art[1]; im ganzen wird man Farben von ähnlicher Brechbarkeit, also etwa Rot und Gelb, oder Blau und Grün, leichter demselben Meteor zuschreiben dürfen als weit auseinanderliegende, wie Gelb und Blau, oder Rot und Grün. — Durch Vermehrung der Beobachtungsorte erhält man die Identitäten sehr bestimmt.

Vergleicht man nun die sphärischen Bahnlagen von zwei identischen Meteoren, so bemerkt man, wie zuerst Benzenberg und Brandes festgestellt haben, auch wenn die Beobachtungsorte nur einige myriom auseinanderliegen, eine bedeutende Verschiedenheit, also eine große tägliche Parallaxe. Diese gestattet den Schluß auf geringe Höhen des Aufleuchtens und Erlöschens. In dem großen Meteorkataloge von Heis findet man unter mehr als 15 000 beobachteten Sternschnuppen 271, die an zwei oder mehreren Orten zufällig oder auf Grund einer Verabredung beobachtet worden sind und zu weiterer Arbeit dienen konnten. Heis, Reimann und andere vor und nach ihnen haben zur Bestimmung der wahren Örter des Anfangs- und Endpunktes[2] sinnreiche rechnerische und zeichnerische Methoden angegeben. Nennt man h_1 und h_2 die Höhen des Aufleuchtens und Erlöschens, so verteilen sie sich auf die 271 von Heis bestimmten wahren Bahnen nach seiner Angabe folgendermaßen:

---

[1] Vgl. die statistischen Ermittelungen in des Verfassers Beiträgen zur Astrophysik (Warendorf 1886).

[2] Offenbar kann man die geographische Lage des Ortes, über dem (in dessen Zenith) das Meteor aufleuchtete oder erlosch, und die Höhe, worin das stattfand, aus der Lage der Beobachtungsorte und den scheinbaren Bahnen ermitteln. Die Endhöhen sind sicherer als die Anfangshöhen, weil das Aufleuchten plötzlich stattfindet, das Erlöschen aber bei gespannter Aufmerksamkeit.

Geogr. Meilen.	h_1	h_2	Geogr. Meilen.	h_1	h_2	Geogr. Meilen.	h_1	h_2
2 bis $3^3/_4$	0	3	16 bis $17^3/_4$	23	15	30 bis $31^3/_4$	5	0
4 — $5^3/_4$	3	21	18 — $19^3/_4$	24	4	32 — $33^3/_4$	1	0
6 — $7^3/_4$	12	44	20 — $21^3/_4$	19	4	34 — $35^3/_4$	1	0
8 — $9^3/_4$	19	55	22 — $23^3/_4$	16	2	36 — $37^3/_4$	1	0
10 — $11^3/_4$	26	64	24 — $25^3/_4$	7	4	38 — $39^3/_4$	1	0
12 — $13^3/_4$	35	31	26 — $27^3/_4$	4	1	40 — 47	5	0
14 — $15^3/_4$	38	23	28 — $29^3/_4$	6	1			

Es ist eine geographische Meile gleich 7,4 km. Die Tafel[1] sagt z. B. aus, daß in der Höhe zwischen 6 und $7^3/_4$ Meilen nur 12 Meteore aufgeleuchtet, aber 44 erloschen sind. Die meisten Anfangshöhen fallen auf 14 und 15 Meilen (104—111 km), die meisten Endhöhen auf 9 und 10 Meilen (67—74 km).

In so großen Höhen ist die Luft schon sehr dünn, und es fragt sich nun, ob wir die Meteore für rein irdische oder für irdisch-kosmische Erscheinungen zu halten haben. Für die zweite Auffassung sprechen viele Gründe.

Zunächst kann man die Länge einer sichtbaren Meteorbahn aus korrespondierenden Beobachtungen so gut berechnen wie die Höhen ihrer Endpunkte. Weiß man, welche Zeit zum Durchlaufen der Bahn gebraucht worden ist, so erhält man die Geschwindigkeit. Gewöhnlich ist die Zeit so kurz, daß man nur überhaupt auf eine sehr große, den irdischen Verhältnissen gar nicht entsprechende Schnelligkeit schließen darf. Geübten Beobachtern gelingt aber hie und da die genaue Zeitbestimmung[2]. Heis kann aus seinem Material einige Geschwindigkeitsbestimmungen verbürgen; er giebt davon fünf an, nämlich zweimal 5 Meilen, je einmal 1 Meile, 3, $5^1/_2$, 6 Meilen. Das sind, wie man sieht, planetarische Geschwindigkeiten, d. h. mit der Laufgeschwindigkeit der ♁ (4 Meilen = 3 myriom) vergleichbare.

Weiterhin kann man die zweifellos bestehende stündliche Variation der Häufigkeit der Sternschnuppen gar nicht anders erklären als durch das Eindringen fremder Weltkörper in die Atmosphäre der rotierenden und um ihre Achse laufenden Erdkugel. Das Nähere darüber ist früher (S. 189 ff.) gesagt worden.

Endlich zeigen viele Meteorbahnen, die an einem und demselben Abende eingezeichnet sind, die Eigentümlichkeit, daß sie an der Sphäre nach bestimmten Punkten, den Ausstrahlungspunkten, Radiationspunkten oder Radianten zusammenlaufen.

Wenn eine Anzahl von physikalisch gleichartigen Linien an der Sphäre als ein System von Hauptkreisbogen mit gemeinsamen Durchschnittspunkten

[1] Einige weitere Ergebnisse aus Heis' Beobachtungen, nebst Berichtigungen zu seinen Tafeln, haben wir in den „Mitteilungen der Vereinigung von Freunden d. Astr." (VII, 125—134) veröffentlicht.

[2] Eine Sekunde ist länger, als den meisten Menschen bekannt ist. — Zeitbestimmungen bei Meteoren hat neuestens Archenhold photographisch ausgeführt.

erscheint, so muß man sie für parallele Linien im Raume halten. Lichtstreifen, welche die Sonne durch Wolkenlücken im Nebel erzeugt, lange Reihen von Schäfchenwolken, endlich die parallel der Richtung der Inklinationsnadel gestellten Nordlichtstrahlen und selbst künstliche Linien, wie Eisenbahnschienen und Baumkronenreihen, liefern dafür Beispiele. In den erstgenannten Fällen liegt fast immer ein Konvergenzpunkt über, der andere unter dem Horizonte, und in der Nähe des sichtbaren Punktes sind die Linien am meisten verkürzt, wie das gerade die Cirrocumulus-Wolken besonders schön zeigen[1]. Auch die Astronomie giebt uns ein Beispiel, nämlich die wechselnden scheinbaren Lagen der Rotationsachse eines Planeten (S. 204—205) oder der auf der Ebene einer Trabantenbahn errichteten Senkrechten, woraus man die wahren Lagen dieser Linien ableiten kann. Ein noch großartigeres Beispiel liefert die später (im 33. Kapitel) zu besprechende Eigenbewegung des Sonnensystems.

Die Bahnen, welche man an einem Abende notiert hat, trägt man später in ein die Sphäre darstellendes Gradnetz ein, das am besten in sogen. centrischer Projektion gezeichnet ist, in welcher alle Hauptkreise als gerade Linien erscheinen[2]. Man erkennt dann leicht die Radiation, indem zahlreiche Bahnen ungefähr nach denselben Punkten konvergieren; je näher die Bahnen diesen Punkten liegen, desto kürzer erscheinen sie, und manchmal sind sogar schon Meteore beobachtet worden, die an einem und demselben Punkte aufleuchteten und verschwanden: stationäre Meteore oder leuchtende Punkte. Unsere Fig. 157 stellt einen großen Teil der 1893, August 10. auf der vatikanischen Sternwarte beobachteten Meteorbahnen dar; man erkennt leicht die Radiation aus einem Punkte, der etwa in RA = 45°, Decl = + 52° im Perseus liegt; dieser Hauptradiant der Augustmeteore hat ihnen seit langer Zeit den Namen Perseiden[3] verschafft, und ähnlich redet man von Leoniden[3] u. s. w.

Bei aufmerksamer Betrachtung erkennt man[4] noch die weitern Radianten: 353° + 58° (Cassiopeia); 341 + 27 (Pegasus); 310 + 44 (Cygnus); 310 + 15 (Delphinus); 298 + 8 (Aquila); 281 + 39 (Lyra); 270 + 60 (Draco); 235 + 72 (Draco); 22 + 63 (Cassiopeia).

---

[1] Von Unkundigen hört man häufig ganz widersprechende Urteile über die augenblickliche Windrichtung; sie berufen sich dann meistens auf die Rauchfahnen der Fabrikschornsteine. Diese scheinen aber, wenn man zwischen den Gebäuden steht, zu divergieren; auch sie sind in Wahrheit nahezu parallel.

[2] Auch die Einzeichnungskarten müssen dieser Bedingung genügen; Rohrbachs Karten thun das auch. Das Gradnetz in Fig. 157 ist nicht central entworfen; dadurch entstehen kleine Fehler in der Radiantenbestimmung. Bei der Centralprojektion ist das Auge im Centrum der Kugel; die Zeichenebene kann beliebig gewählt werden; am besten nimmt man die des Beobachtungshorizontes zu der Sternzeit, welche etwa der Mitte des Beobachtungszeitraumes entspricht. Vgl. noch S. 463—464.

[3] Viersilbig, die dritte Silbe zu betonen.

[4] Natürlich sind die Originalgradnetze weit größer als unser Bild.

Ist ein Meteor gleichzeitig an mehreren Orten beobachtet worden, und gehört es an einem von diesen zu einer bestimmten Radiation, z. B. zu der des Perseus, so schneiden sich die an allen Orten beobachteten scheinbaren

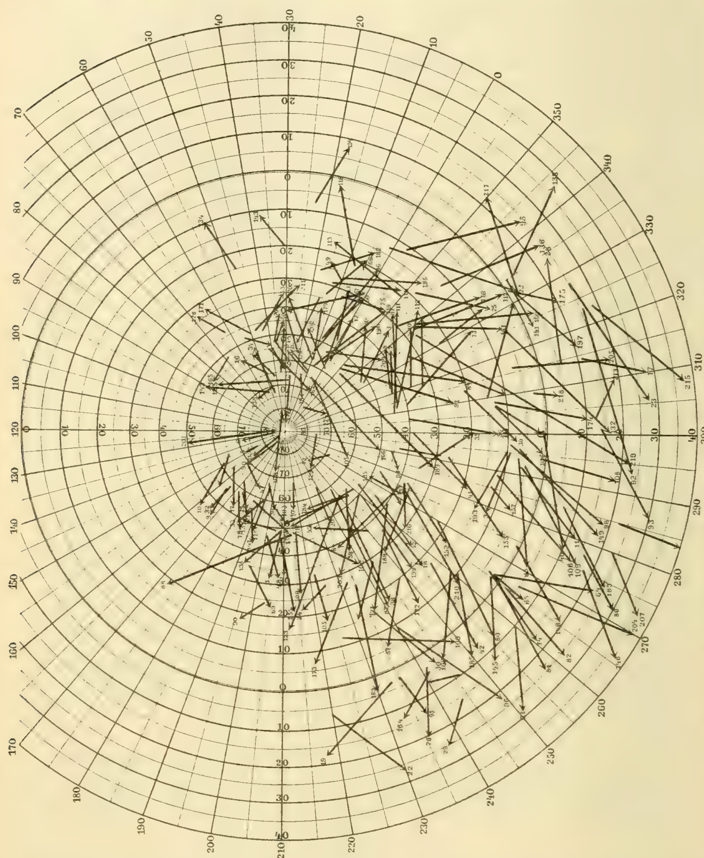


Fig. 157. Meteorbahnen, beobachtet auf der vatikanischen Sternwarte 1893, August 10.

Bahnen in diesem Radiationspunkte — ein weiterer Beweis dafür, daß wir es wirklich mit geraden Linien [1] zu thun haben, die zu einer festen Lage

[1] Abweichungen von der geraden Linie, in der Beobachtung also vom größten Kreise, kommen hie und da vor. Der Beobachter notiert dann drei Punkte. Die Tangente im Anfangspunkte weist manchmal auf den Radianten.

parallel sind. Diese Linie bleibt während einer ganzen Nacht dieselbe im Raume; der Radiationspunkt hat seine bestimmte RA und Decl, er geht mit den Sternen auf und unter; er dreht sich also für den irdischen Beobachter. Offenbar ist das ein zwingender Beweis für die astronomische Natur des Vorganges, während z. B. die Nordlichtstrahlen, deren Konvergenzpunkte (im N. unter, im S. über dem Horizonte) relativ beständige Azimute und Höhen besitzen, schon hierdurch als ein irdisches Phänomen gekennzeichnet sind.

Zu bestimmten Jahrestagen, d. h. zu bestimmten Stellungen des Erdballs im Sonnensystem, gehören bestimmte Radianten; so zum 10. August[1] der erwähnte Radiant im Perseus, zum 12. November einer im Löwen u. s. w. Außer den zu bestimmten Radiationen gehörigen Sternschnuppen treten zu allen Jahreszeiten zerstreute oder sporadische Meteore auf.

Der Zusammenhang zwischen Radiation und Jahreszeit erklärt sich nun am einfachsten so: es giebt wolkenartige Ansammlungen von sehr kleinen Weltkörpern, die in eigenen Bahnen um die Sonne kreisen[2] und jedesmal über die ganze Bahn verstreut sind, ähnlich den Bestandteilen des Saturnsringes oder des Asteroidengürtels. Die Bahnen von einigen dieser meteorischen Ringe liegen nun zufällig so, daß sie die Erdbahn kreuzen. Obschon das bei der vielleicht großen Breite und Dicke der Ringe relativ leicht vorkommen mag, darf man doch aus der ziemlich großen Zahl von Ringen, die sich aus den vielen beobachteten Radianten ergiebt, auf eine noch weit größere Zahl von Ringen schließen, die uns niemals sichtbar werden. Denn diese Weltkörperchen, nennen wir sie Meteoriten, sind so klein und zerstreut, daß sie uns das Sonnenlicht in merkbarer Weise nicht mehr zurückwerfen können, es sei denn daß sie sehr nahe bei der Sonne ständen, ein Fall, der uns vielleicht durch das Zodiakallicht (S. 340—346) dargeboten wird. Im allgemeinen wird ein Meteorit nur dadurch sichtbar, daß er, wenn die Erdkugel durch den Schwarm fährt, infolge des heftigen Luftwiderstandes erglüht. Da nun die Glieder eines und desselben Schwarmes an der vielleicht relativ schmalen Stelle, die die Erdkugel durchfährt, in der kurzen Zeit des Durchganges durch die Atmosphäre Bahnen ziehen, die sich als parallele gerade, mit konstanter Geschwindigkeit durchlaufene Linien ansehen lassen, so setzt sich für uns diese Bewegung mit der unter demselben Gesichtspunkte zu betrachtenden Erdbewegung von 3 myriom in der Sekunde nach dem Satze vom Parallelogramm zu einer gleichfalls geradlinigen, für alle Meteoriten gleichartigen Bewegung zusammen; die Perspektive verwandelt diese Bewegung für uns in die Radiation.

[1] Laurentius-Thränen hat man die Perseiden genannt mit Beziehung auf das am 10. August stattfindende Heiligenfest.

[2] Ihr Verbleiben an bestimmten Punkten wird schon durch die Newtonsche Anziehung ausgeschlossen.

Kennte man die beiden Teilbewegungen, die sich zu der geocentrischen Bewegung der Meteoriten zusammensetzen, nach Größe und Richtung, so könnte man daraus die resultierende Bewegung zeichnend oder rechnend ableiten. Nun kennt man 1. von der Erdbewegung in jedem Augenblick die Größe, nämlich 3 myriom für die Sekunde, und die Richtung, nämlich die Linie zum Apex (S. 190); 2. von der wahren (heliocentrischen) Meteoritenbewegung zwar nicht die Richtung, aber näherungsweise die Größe. Setzt man nämlich voraus, daß die Bahn eine sehr excentrische Ellipse ist, die man zunächst als Parabel betrachten darf, so kann man folgenden, aus Keplers Gesetzen leicht abzuleitenden Satz benutzen: Läuft ein Körper (der Meteorit) in einer Parabel um die Sonne, ein anderer (die ♁) in einer Kreisbahn, und ist zufällig einmal der Abstand des ersten Körpers von der Sonne gleich dem des zweiten — was hier offenbar zutrifft —, so ist seine augenblickliche lineare Geschwindigkeit im Verhältnisse $\sqrt{2}$ größer als die des zweiten. Man hat hiernach die heliocentrische Geschwindigkeit des Meteoriten gleich 3 myriom $\cdot \sqrt{2} = 4{,}2$ myriom zu setzen. Nun kennt man 3. von der resultierenden Bewegung zwar nicht die Größe, die sich aus den Höhenbestimmungen (S. 470) nur unsicher und mehr im Sinne einer Bestätigung ableiten läßt, wohl aber die Richtung, nämlich die Linie vom Radianten, mit derselben Genauigkeit, womit sich dessen Lage überhaupt aus den eingetragenen Bahnen bestimmen läßt, unter Umständen auf Bruchteile des Grades genau. In dem Dreiecke, welches die Teilbewegungen mit den Resultanten bilden, kennt man also zwei Seiten und den der größern gegenüberliegenden Winkel und damit die übrigen Stücke [1]. Man sieht auch noch, daß sich, wenn dieser Winkel von 0^0 bis 180^0 wächst, die Größe der Resultierenden, also die Geschwindigkeit der Meteore in der Atmosphäre, von 3 myriom $\cdot (\sqrt{2} + 1) = 7{,}2$ myriom bis 3 myriom $\cdot (\sqrt{2} - 1) = 1{,}2$ myriom ändern kann; im ganzen stimmen damit die oben (S. 470) mitgeteilten Zahlen von Heis, besonders in Anbetracht der Unsicherheit der Zeitschätzung. — Mit dem Brennpunkte ⊙, dem Kurvenpunkte ♁ und der augenblicklichen Laufrichtung ist die parabolische Bahn völlig bestimmt nach Lage, Parameter und Perihelslänge.

Indem Schiaparelli die Bahnelemente des Perseidenschwarmes nach der angegebenen Methode der Rechnung unterwarf, entdeckte er, daß dieser Schwarm, wenigstens soweit er im Jahre 1866 beobachtet war, ziemlich genau in der Bahn eines rückläufigen periodischen Kometen von 1862 einherging, dessen Umlaufszeit sich zu 123 Jahren ergeben hat, während die Excentricität gleich 0,96 ist, also der Einheit nahe kommt. Dasselbe ergab sich

[1] Übrigens wird die wahre Bewegung der Meteoriten durch die störende Anziehung der Erde sehr entstellt.

später für den zwischen dem 12. und 14. November die Erdbahn kreuzenden Leonidenschwarm und einen Kometen von 1866, dessen Excentricität gleich 0,91 ist, während die Umlaufszeit 33 Jahre beträgt. Später hat man noch für viele Sternschnuppenradianten den Zusammenhang mit Kometen erwiesen.

Unsere Fig. 158 giebt die Bahnlagen der merkwürdigen Schwärme der Perseiden und Leoniden an, wovon der erste in allen Jahren[1] in gleicher Stärke auftritt, während der zweite gewöhnlich schwach ist, jedoch etwa alle 33 Jahre[2] sehr hohe Maxima erreicht und dann den Perseidenschwarm übertrifft. Die Bahnen der Schwärme sind des Maßstabes wegen unvollständig gezeichnet; die Erdbahn ist perspektivisch verzerrt. Jene 33jährige Periode bedeutet offenbar, daß es in dem Leonidenringe an einer Stelle eine Verdichtung giebt, die wir immer nur nach einem vollständigen Umlaufe des Ringes kreuzen.

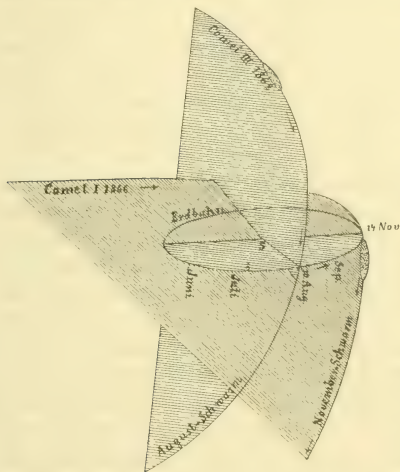


Fig. 158. Bahnlagen der Perseiden und der Leoniden.

Es ist früher (S. 456) angedeutet worden, daß auch der Komet Biela bei jedem Umlaufe der Erdbahn nahe kommt. Dieses merkwürdige Gestirn ist in den Jahren 1772, 1806, 1826[3], 1832 in der gewöhnlichen Gestalt eines verschwommenen Nebels mit kleinem Kern und schwachem Schweife gesehen worden; er kam nicht bei jedem Umlaufe in eine so günstige Stellung zur Erde, daß er sich überhaupt beobachten ließ; so erklären sich die Sprünge in den Jahreszahlen; die Umlaufszeit ist etwa gleich $6^3/_4$ Jahren. Für die letzten Monate des Jahres 1845 war ein günstiger Periheldurchgang vorausberechnet, und in der That wurde der Komet in der gewöhnlichen Gestalt sichtbar (1845, November 26.). Bald aber (Dezember 29.) nahm man zum großen Erstaunen wahr, daß er einen Nebenkometen hatte,

[1] Von dem hier sehr störenden Mondlichte abgesehen. Die scheinbaren Maxima richten sich nach dem Metonischen Cyklus (vgl. S. 122).

[2] Die Beobachtungen gehen sehr weit zurück; die letzten Maxima waren 1799, 1833, 1866, so daß für 1899 wieder eines zu erwarten ist.

[3] In diesem Jahre von dem österreichischen Offiziere Biela entdeckt.

der ungefähr in derselben Bahn ging, zuerst nur 1′ vom Hauptkörper abstand, sich allmählich aber weiter von ihm entfernte und zugleich an Helligkeit zunahm. Das Helligkeitsverhältnis wechselte mehrmals bis in den Februar 1846, wo die Bedingungen ungünstiger wurden. Der Abstand der Kerne voneinander war am größten zur Zeit des Periheldurchganges. Dasselbe beobachtete P. Secchi bei der unter ziemlich ungünstigen Umständen eingetretenen Wiederkunft des Kometen im Jahre 1852. Nur waren jetzt die Kerne noch viel weiter voneinander entfernt. Auch das Verhältnis der Helligkeiten wechselte wieder.

Seitdem ist Bielas Komet als solcher nie mehr wiedergesehen worden. Die Wiederkehr von 1859 war freilich noch ungünstiger als die von 1852, aber die Wiederkünfte von 1865, 1872, 1879, 1885, 1892 hätten ihn zeigen müssen. Man muß daher annehmen, daß er durch innere oder äußere Kräfte noch weiter zerstört worden ist. Zu den äußern Ursachen wäre nach der Ansicht einiger Forscher ein Zusammentreffen mit Enckes Kometen zu rechnen; mit diesem besitzt der Bielasche eine „Proximität", die eine solche Gefahr nahelegt.

Am 27. November 1872 ereignete sich ganz unerwartet einer der prachtvollsten Sternschnuppenfälle dieses Jahrhunderts. Nach Heis wurden in Münster von $8^h\ 22^m$ bis $8^h\ 39^m$ Berliner Zeit, also in 17^m, nicht weniger als 900 Meteore gezählt, in Göttingen 7710 in 3^h, in Rom 13 892 in $5^1/_2{}^h$ u. s. w. Zuerst von Klinkerfues in Göttingen wurde damals ausgesprochen, daß wir durch den Bielaschen Kometen oder doch durch seine Trümmer gefahren seien. Der Radiant lag in $RA = 26^0$, $Decl = + 43^0$, bei γ Andromedae. Klinkerfues hatte ein paar Tage später den sinnreichen Einfall, an die Sternwarte in Madras zu telegraphieren, man möge den Kometen an dem in AR und Decl entgegengesetzten Punkte des südlichen Himmels aufsuchen. Pogson fand dort in der That ein schwaches nebelähnliches Gebilde, das mit dem Bielaringe in Zusammenhang stehen mag, obwohl man es nicht gerade für den Kometen selbst halten darf.

Der Komet scheint sich noch nicht so weit aufgelöst zu haben, daß die ganze Bahn gleichmäßig besetzt wäre; vielmehr nimmt die meteorische Wolke erst einen kleinen Teil der Bahnellipse weg. Das geht wohl daraus hervor, daß erst am 27. November 1885, wo der Komet etwas mehr als zwei weitere Umläufe gemacht hatte, ein Meteorschauer von ähnlicher Pracht wie im Jahre 1872 eintrat. Auch 1892 wurde ein solcher Sternschnuppenregen an vielen Orten beobachtet. Dieser verfrühte sich um 4^d, und man hat die sich daraus ergebende Änderung der Bahnlage der Bielaschen Meteoriten auf eine Störung durch Jupiter zurückgeführt, die sich übrigens, da der Planet jetzt anders steht, zunächst nicht wiederholen wird. Ein neuer Meteorschauer ist also wohl für 1899, November 23. zu erwarten, vielleicht auch

schon für 1898. Um dieselbe Zeit dürften die Leoniden zufällig auch ihr Maximum (etwa November 13.) erreichen. Leider wird gerade im Jahre 1899 der Mond (☾ ☍ ☉ November 16.) sehr stören.

Der Zusammenhang zwischen Kometen und Meteoriten bedarf in mancher Beziehung noch sehr der weitern Erforschung; es ist hier ein Gebiet, wo sich auch der bescheidenste Liebhaber der Astronomie durch fortgesetzte Beobachtungen sehr nützlich machen kann. Die größten Feuerkugeln, welche unabhängig von den Meteorströmen das ganze Jahr hindurch niedergehen, besitzen übrigens nach den darüber angestellten Beobachtungen und Rechnungen so große Geschwindigkeiten, daß auf hyperbolische Bahnen und damit auf die Herkunft aus dem weitern Weltraume, d. h. aus transneptunischen Gebieten zu schließen ist.

* * *

Die Geschwindigkeiten, womit die Meteoriten in die Atmosphäre eindringen, übertreffen so sehr alle auf künstlichem Wege, etwa durch Geschütze, erreichbaren, daß uns die dabei auftretenden Erscheinungen nicht wundern dürfen: nämlich in erster Linie das Erglühen, wodurch uns ja die Meteore überhaupt erst sichtbar werden. Es rührt her von der Gegenwirkung der Luft, die trotz ihrer geringen Dichte in den großen Höhen durch eine so rasche Bewegung sehr heftig gerieben und zusammengedrückt werden muß. Die Spektra, deren Beobachtung natürlich nur dem gewandten Spektroskopiker an reich besetzten Abenden gelingt, scheinen nach den wenigen darüber veröffentlichten Notizen auf kontinuierlichem Grunde helle Linien zu zeigen, z. B. die Natriumlinie D. Man hat es also, wie zu erwarten stand, mit weißglühenden festen Körpern und mit glühenden Gasen zu thun. Einzelne Spektralgebiete sind manchmal heller als andere; das wird von der Anhäufung heller Linien herrühren, woraus sich dann auch die häufig beobachtete Färbung der Meteore erklärt. Nach meinen Zusammenstellungen über die Meteorverzeichnisse von Heis und Julius Schmidt scheinen sich die roten Meteore am langsamsten zu bewegen; oder vielmehr: bei Meteoren, die langsam, z. B. mit der Minimalgeschwindigkeit von 12 km durch die Atmosphäre gehen, tritt nur helle Rotglut ein. Die blauen Meteore bewegen sich am schnellsten, wie sich gleichfalls aus dem Kataloge von Heis ergiebt; Schmidt hat sonderbarerweise niemals die blaue Farbe beobachtet, obschon sein Katalog fast 1700 Nummern umfaßt — ein Beweis für den großen Einfluß der Subjektivität auf die Farbenwahrnehmung.

Wirft man ein Streichholz weg oder schwenkt man ein Rauchfaß, so bleibt der aus gasigen und festen Bestandteilen gemengte Rauch in der Luft stehen, wenn er nicht zufällig vom Winde bewegt wird. Das erklärt sich durch den Luftwiderstand, und dieselbe Ursache wird man für das Stehen-

bleiben der Meteorschweife angeben dürfen; sie bestehen, wie auch das Spektroskop zu bestätigen scheint, aus leuchtenden Dämpfen, vielleicht auch aus mitgerissenen festen Teilchen. Hierauf deutet das so häufige rosenkranzförmige Gefüge der Schweife, hierauf auch das Auftreten roter Funken beim Zerplatzen anders gefärbter Feuerkugeln (vgl. das Meteor Nr. 671 auf S. 466). Vor dem Kaltwerden erstrahlen die kleinen abgesplitterten Stücke zuletzt in Rotglut. An Schweifen, die längere Zeit (bis zu Minuten) sichtbar waren, hat man seltsame Veränderungen wahrgenommen, auch im Fernrohr; sie scheinen durch Luftbewegungen in den höchsten Schichten zu entstehen; der aufmerksame Beobachter hat also an sternschnuppenreichen Abenden Gelegenheit, auch über diese Bewegungen etwas zu ermitteln, die nicht mehr mit den gewöhnlichen Wettererscheinungen zusammenhangen, sondern, gleich den leuchtenden Nachtwolken, auf eine Reaktion des den Weltraum erfüllenden Mittels gegen die ihn durchfliegende Erdkugel hindeuten dürften.

Über die Masse der Meteoriten hat A. Herschel sinnreiche Vermutungen geäußert auf Grund der beobachteten Helligkeiten und Entfernungen sowie der mechanischen Wärmetheorie; er findet, daß ein Meteorit, der uns als Meteor vom Glanze der ♀ sichtbar wird, etwa 2 kg wiegen mag; für Sternschnuppen 2. Größe findet er nur mehr 6 gr als Durchschnittsgewicht; die meisten uns sichtbar werdenden Meteore 3. bis 5. Größe können nur mehr Decigramme wiegen. Da nun, wie andere Rechnungen gezeigt haben, auch in sehr dichten Schwärmen die einzelnen Körperchen im Mittel noch gut 30 km voneinander abstehen — wenigstens die unserem freien Auge sichtbar werdenden —, so wird man den weit ausgedehnten meteorischen Ringen mit demselben Rechte wie den Kometen den Namen von sichtbaren Nichtsen, riens visibles, zuteilen können.

* * *

Daß uns ein Meteorit von nur 2 kg Gewicht noch in sehr weitem Abstande wie ein Stern von der Helligkeit der ♀ erscheint, müßte befremden, wenn man annähme, daß wir nur den erglühenden Körper selbst zu Gesichte bekämen. In Wahrheit wird sich um ihn eine Hülle bilden von mitgerissener Luft, die samt den in ihr schwebenden festen Teilchen gleichfalls ins Glühen kommt. Diese Annahme erscheint notwendig, wenn man bedenkt, daß ziemlich starke und ausgedehnte irdische Lichtquellen, z. B. Bogenlampen, schon im Abstande von wenigen km wie ausdehnungslose Fixsterne erscheinen. Rechnet man auch ab, daß wir diese Lichtquellen im Horizonte sehen und daß die durchstrahlten Glocken weit lichtschwächer sein müssen als ein weißglühender Körper von gleicher Größe, so bleibt doch bei der bedeutenden Größe der Glocken die Sache auffallend; daß ihr scheinbarer Durchmesser im Abstande von 3 km nur mehr Bruchteile der Minute beträgt, findet man leicht, aber

ein Meteor, das wir vielleicht im 20fachen Abstande sehen und dem wir dennoch einen meßbaren Durchmesser zu geben geneigt sind, das muß einen sehr großen wahren Durchmesser haben, der sich in erster Linie durch die Flammenhülle erklären dürfte. Die Irradiation auf der Netzhaut und die Plötzlichkeit der Erscheinung verstärken übrigens den Eindruck. So erklärt sich's auch, daß unbefangene Beobachter, in erster Linie natürlich solche, die von sphärischer Messung nichts wissen, häufig genug behauptet haben, eine Feuerkugel sei in ihrer nächsten Nähe, etwa am Waldesrande, zur Erde gefallen. Nur zu natürlich war es dann, nachzusehen, was eigentlich gefallen sei, und da verfiel man auf Gegenstände, die irdisch nicht gedeutet werden konnten und jedenfalls mit ihrer Fundstätte unmittelbar nichts zu thun hatten.

Diese Objekte, sogen. Meteorgallerte, welche das Volk noch immer mit großer Zähigkeit als Reste gefallener Sternschnuppen betrachtet, sind entweder Wucherungen von Nostoc, einer zu den Schizophyceen gehörigen Alge, oder die gequollenen Eileiter von Fröschen. Die Raubvögel geben aus der Luft solche und andere unverdauliche Bestandteile ihrer Beute durch den Schnabel wieder von sich, der Regen bringt die Eileiter zum Quellen[1] und verwandelt sie in zähe klebrige Massen von bedeutendem Umfange.

Es ist nicht zu bezweifeln, daß die meisten Meteorite in der Luft vollständig verbrennen oder doch bis zum spurlosen Verschwinden zerstäubt werden. Sehr große Massen finden aber, da ihre Oberfläche verhältnismäßig gering ist, an der Luft nur einen relativ kleinen Widerstand; sie dringen darum in unverbranntem Zustande in ziemlich tiefe Luftschichten, wo dann zuletzt der vermehrte Widerstand ihre Geschwindigkeit vernichtet. An diesem Hemmungspunkte, wo sie einfach der Schwere zu gehorchen beginnen, hört die Entwicklung von Licht und Wärme auf. Die äußere kalte Luft stürzt in den Verdünnungsraum, der den Meteoriten umgiebt; hierdurch hat man den vielfach auftretenden Knall, die Detonation, erklärt. Wenn vielfach berichtet wird, eine Feuerkugel sei unter heftigem Knall zerplatzt, so ist zu bedenken, daß das Zerplatzen in Höhen stattzufinden scheint, die bereits eine merkliche Schallverzögerung bedeuten. Daher mag das Zerplatzen in Wahrheit die spätere Erscheinung sein, eine Folge vielleicht der Wiederabkühlung

[1] Im Jahre 1883 hat H. Landois dies durch den Versuch nachgewiesen; er legte einen Frosch mit geöffneter Bauchhöhle ins Wasser, und schon nach 24^h waren die Eileiter mächtig geschwollen. Eier und Darmteile des Frosches findet man in der Regel an den Eileitern klebend vor. Von dem äußerlich schon abweichenden Nostoclager unterscheiden sich die tierischen Massen noch besonders durch den Ammoniakgeruch bei der Verbrennung (12. Jahresbericht des Westfälischen Provinzialvereins für Wissenschaft und Kunst S. 23). — Goethe benutzt auch diesen Volksaberglauben zu einer sinnigen Allegorie; im Walpurgisnachtstraum läßt er die Sternschnuppe sagen: „Aus der Höhe schoß ich her im Stern- und Feuerscheine, liege nun im Grase quer; wer hilft mir auf die Beine?“

der heißen Rinde beim Fallen. Im Innern müssen schon durch die äußere Erhitzung des großen Körpers Sprünge entstanden sein, die den spätern Zerfall erleichtern. Die Rotation, welche ein unregelmäßig begrenzter Körper beim Aufprallen auf die Atmosphäre erhält, befördert die Verstreuung; in gleichem Sinne wirkt die Erhitzung eingeschlossener Gase und die Verschiedenheit des Luftwiderstandes, den die Brocken beim Auseinanderfliegen erfahren. So begreift man, daß die Trümmer eines großen Meteoriten über ganze Provinzen verstreut werden können. — Übrigens ist auch oft eine erhebliche Verspätung des Knalles gegen das sichtbare Zerfallen beobachtet worden; es ist also auch sehr wohl möglich, daß bei vielen Erscheinungen das Zerspringen infolge der Spannkraft eingeschlossener Gase den Knall hervorruft.

Nachdem man im Jahrhundert der Aufklärung die Thatsächlichkeit der Meteoritenfälle den besten Zeugnissen zum Trotze bezweifeln zu müssen geglaubt hatte, wies Chladni im Jahre 1794 überzeugend nach, daß aus dem Weltraume stammende Eisen- und Steinmassen zur Erde fallen. Solche Aërolithe[1], Meteorsteine und Meteoreisen sind jetzt in großer Zahl gesammelt und werden in den Museen zu Berlin, Wien u. s. w. aufbewahrt. Meistens nur kleine Handstücke oder Brocken darstellend, erreichen sie manchmal bedeutendere Größe; so wiegt der Meteorit von Knyahinya in Ungarn 294 kg bei einem Volumen von 84 Litern; noch größer ist der schwarze Stein in der Kaaba, der nach einer nicht unwahrscheinlichen Überlieferung des Islam gleichfalls „vom Himmel gefallen" ist. Man schätzt sein Volumen auf 150 l. Gewicht und Zusammensetzung hat man natürlich noch nicht ermitteln können.

Da die Aërolithe gewöhnlich entweder auffallend reich oder auffallend arm an Eisen sind, hat man die vorhin angedeutete Einteilung gemacht. Doch mußten später zahlreiche Übergangsglieder eingeschaltet werden. Kennzeichnend für die Eisenmeteorite oder Siderite[2] sind die nach ihrem Entdecker benannten Widmannstättenschen Figuren, die beim Ätzen geschliffener Stücke mit verdünnten Säuren entstehen. Das meteorische Eisen enthält stets etwas Nickel[3], bisweilen in einem Verhältnisse, das einer chemischen Verbindung (z. B. Fe_{14} Ni) entspricht, manchmal in sehr großen Mengen, bis zu 20 %. Es ist möglich, daß in alten Zeiten, ehe man die Eisenerze verhütten konnte, Meteoreisen verarbeitet worden ist, das schon durch seinen wunderbaren Ursprung den Naturvölkern auffallen mußte.

Auch die Steinmeteorite enthalten nur Grundstoffe, die uns von der Erde her bekannt sind, hie und da in Verbindungen, die bei uns nicht

---

[1] Von *ἀήρ*, die Luft; *λίθος*, der Stein. [2] Von *σίδηρος*, das Eisen.

[3] A. E. v. Nordenskjöld hat in Polargegenden, die von allem Menschenverkehr weit abliegen, Eisenstaub aus dem Schnee gewonnen. Er hält diesen Staub für meteorisch; andere haben den fehlenden Nickelgehalt als Beweis dagegen angeführt.

vorkommen. So unterscheidet sich das meteorische Schwefeleisen oder der Troilit (FeS) nicht nur von unserem Eisenkies (FeS_2), sondern auch von dem näherstehenden Magnetkies ($Fe_n S_{n+1}$) durch das Verhältnis der Bestandteile; der Olivin dagegen $(Mg, Fe)_2 SiO_4$ kommt irdisch und meteorisch vor.

Die Frage nach dem eigentlichen Ursprunge jener durch den Weltraum wandernden Massen, die uns als Aërolithe zufallen, ist noch ungelöst. Zu den größern Meteorschwärmen scheinen sie im allgemeinen nicht zu gehören. Die Ähnlichkeit mit unsern vulkanischen Gesteinen, die unter bestimmten Druckverhältnissen aus dem Schmelzflusse erstarrt sind, legt die Vermutung nahe, daß wir es mit versprengten Trümmern untergegangener größerer Weltkörper zu thun haben. Fragt man nach der Ursache, die großen planetarischen Massen den Zerfall bringen kann, so kann wohl nur an den Zusammenstoß mit andern Massen dieser Art gedacht werden. Die heftigen mechanischen und thermischen Wirkungen, die dabei auftreten, sind allein im stande, die Teile eines so großen Körpers der gegenseitigen Anziehung zum Trotze auseinanderzureißen. Der gemeinsame Schwerpunkt des Ganzen setzt die frühere Bewegung fort, aber die störenden Kräfte anderer Körper reißen die Teile immer weiter auseinander.

Jedenfalls lehrt die chemische Zerlegung der Aërolithe im Einklange mit der spektralanalytischen Betrachtung des Sonnenkörpers, daß das Weltall aus denselben Stoffen aufgebaut ist wie unsere Erde. Weitere Beweise dafür wird uns die Betrachtung des Fixsternhimmels geben.

Dreiunddreißigstes Kapitel.

Entfernung, Anzahl, fortschreitende Bewegung und wahre Größe der Fixsterne. — Zugehörigkeit der Sonne zu ihnen. — Die Milchstraße.

Die Entfernung eines Fixsternes ist im Vergleiche mit der Größe der Erde als unermeßlich groß anzusehen. Der Beweis für diesen wichtigen Satz, der zahlreiche Untersuchungen erleichtert oder überhaupt erst möglich macht, ist früher (S. 13—15) erbracht worden. Aber nicht nur der Radius der Erde, sondern sogar der 23400mal so große Halbmesser ihrer Bahn ist als unermeßlich klein anzusehen gegenüber den Entfernungen der meisten Fixsterne. Indessen geben uns doch die meßbaren jährlichen Parallaxen einiger, im ganzen[1] etwa 50, neben einem der vielen Beweise für die Richtigkeit des coppernicanischen Systems zugleich die Möglichkeit einer Schätzung der Abstände (vgl. S. 188—189) — einer Schätzung, nicht aber einer genauen

[1] Die Anzahl dürfte in der nächsten Zeit rasch wachsen, da man gelernt hat, durch Plattenausmessung die Parallaxen weit schneller zu bestimmen als durch unmittelbare Betrachtung.

Berechnung, da alle gemessenen Parallaxen unter 1″ bleiben und sicherlich die meisten um mehrere Hundertstel Sekunden, also um beträchtliche Bruchteile ihrer Werte, falsch sein können.

Die zuverlässigsten Parallaxenbestimmungen sind nebst einigen nachher zu erklärenden Zahlen in nachstehender Übersicht wiedergegeben.

Name des Sternes.	Sterngröße.	1900,0 RA	1900,0 Decl	Parallaxe.	Entfernung in Lichtjahren.	Eigenbewegung.	Verschiebung im Visionsradius.	Verhältnis zur ☉.
α Centauri	1	14h 32m,8	— 60° 25′	0″,71	4,6	3″,67		>
61 Cygni	5.6	21 2,4	+ 38 15	50	6,5	5,16		<
21185 Lalande [1]	7.8	10 57,9	+ 36 38	48	6,7	4,75		<
α Aurigae	1	5 9,3	+ 45 54	39	8,3	0,43	+ 25 km	>
α Canis mai.	1	6 40,7	— 16 35	38	8,5	1,33	— 16	>
34 Groombridge [1]	8	0 12,7	+ 43 27	31	10,5	2,81		<
α Canis min.	1	7 34,1	+ 5 29	28	11,6	1.25	— 9	>
1618 Groombridge	6.7	10 5,3	+ 49 58	26	12,5	1,43		<
η Cassiopeiae	4	0 43,0	+ 57 17	26	12,5	1,19		
σ Draconis	5	19 32,5	+ 69 29	24	13,5	1,93		
3077 Bradley [1]	6	23 8,5	+ 56 37	24	13,5	2,09		<
21258 Lalande	8.9	11 0,5	+ 44 2	23	14,2	4,40		<
17414 A-Ö [1]	9	17 37,0	+ 68 26	22	14,8	1,27		<
ε Indi	4	21 55,7	— 57 12	22	14,8	4,70		
α Aquilae	1	19 45,9	+ 8 36	19	17,1	0,65		>
o_2 Eridani	4.5	4 10,7	— 7 49	19	17,1	4,11		
p (70) Ophiuchi	4	18 0,4	+ 2 31	17	19,2	1,11		>
α Lyrae	1	18 33,6	+ 38 41	16	20,4	0,36	— 16	>
1830 Groombridge	7	11 47,2	+ 38 26	15	21,7	7,05		<

Aus diesem Verzeichnisse geht zunächst hervor, daß es nicht gerechtfertigt ist, die hellsten Sterne für die nächsten zu halten. Wären alle Sterne von gleicher wahrer Größe und Leuchtkraft, so könnte natürlich der Unterschied ihrer scheinbaren Größen nur von der Entfernung herrühren, deren umgekehrtem Quadrate die Lichtstärke proportional ist. Nun ist freilich, soviel man weiß [2], der sehr helle Stern α Centauri der nächste beim Sonnen-

[1] Nach den Sternverzeichnissen von Lalande, Groombridge, Bradley, von Argelander und Öltzen. Die Nummern in den Sternbildern (61 Cygni, 70 Ophiuchi) beziehen sich auf das Verzeichnis von Flamsteed.

[2] Soviel man weiß. Parallaxenbestimmungen, die sehr mühsam sind, versucht man natürlich zuerst an hellern Sternen, deren größere Nähe man ja vermuten darf; danach an solchen schwächern, bei denen der Vergleich alter und neuer Verzeichnisse eine bedeutende Eigenbewegung (siehe weiter unten) erkennen läßt. Es ist nun aber recht wohl denkbar, daß sich unter den schwächern Sternen solche mit großer Parallaxe, aber kleiner Eigenbewegung finden. Die Photographie wird das vielleicht bald feststellen. Siehe die Note S. 481.

system; aber der hellste von allen, Sirius oder *α* Canis maioris, hat eine viel größere Entfernung als jener und sogar noch eine etwas größere als das schwache Sternchen 21 185 Lalande. So muß auch Wega (*α* Lyrae) vielen schwächern Sternen nachstehen. Die erste Parallaxenbestimmung überhaupt ist Bessel bei 61 Cygni gelungen.

Wer in mechanischen Arbeiten geübt ist, kann sich die wahren Stellungen der angegebenen Sterne durch ein Stabmodell versinnlichen. Ein festes Brettchen stellt die Ekliptikalebene, eine darin gezogene Gerade die Nachtgleichenlinie von 1900 dar. Dann ist die Richtung zu einem jeden Sterne durch RA und Decl gegeben; man deutet sie durch einen Stab an, dessen Länge dem Parallaxenwerte umgekehrt proportional ist.

Will man ein direktes Maß haben, so bedient man sich am besten des Lichtjahres. Man kann nämlich die Abstände der Fixsterne auf die Einheit des Sonnensystems, also auf die große Bahnhalbachse der Erde beziehen. Ein Stern mit einer Parallaxe von $1'',0$ würde um 206 265 dieser Einheiten von der Sonne abstehen, da der arcus-Wert der Winkelsekunde 1 : 206 265 ist. Für *α* Centauri erhält man dagegen 206 265 : 0,71 = 290 500 Einheiten (abgerundet[1]). Diese schon sehr großen Zahlen würden durch Verwandlung in Kilometerzahlen noch übermäßig vergrößert werden. Da das Licht von der ☉ bis zur ♁ ungefähr 500^s braucht, wird es von *α* Centauri zur ♁ etwa $290\,000 \times 500^s = 145\,000\,000^s$ gebrauchen. Nun ist ein Jahr gleich $31\,556\,920^s$; also verfließen nicht weniger als 4,6 Jahre, bis ein von *α* Centauri ausgegangener Lichtstrahl die Erde trifft. Diese Lichtjahre haben wir auch bei den andern Fixsternen angegeben; für die Anfertigung eines Modelles kann man das halbe Decimeter dem Lichtjahre entsprechen lassen.

Für die überwiegende Mehrzahl der Fixsterne ist man betreffs der Parallaxe auf bloße Vermutungen angewiesen. Die meisten schwachen Sterne dürften so weit entfernt sein, daß ihr Licht Hunderte und selbst Tausende von Jahren gebraucht, um zur Erde zu gelangen; denn daß uns viele schwache Sterne so nahe wären wie etwa 21 258 Lalande, ist sehr unwahrscheinlich. Noch mehr als bei den Planeten muß man also bei den Fixsternen bedenken, daß wir niemals Gegenwärtiges, sondern immer nur Vergangenes beobachten. Ein Stern kann seit Jahren erloschen sein, während wir ihn noch sehen.

Die Aufgabe der Bestimmung der Zahl der Sterne[2] kann nur den Sinn haben, daß festgestellt werden soll, wie viele einem Auge von bestimmter natürlicher Sehschärfe oder instrumentaler Bewaffnung bei bestimmtem Luftzustande sichtbar sind. Bedenkt man nun, daß die Dicke der

---

[1] Vgl. die Erklärungen S. 29.

[2] Unter Sternen schlechthin sind immer Fixsterne zu verstehen.

vom Lichtstrahl zu durchlaufenden Luftschicht von der Höhe des Sternes und diese wieder von der Polhöhe des Ortes und der Sternzeit abhängt, erwägt man weiter, daß in unsern Breiten viele südliche Sterne überhaupt nur in den hellen Nächten des Hochsommers für kurze Zeit über den Horizont kommen, und daß auch bei gleicher Polhöhe (geographischer Breite) der klimatische Unterschied zur Geltung kommt, daß endlich das menschliche Auge ein im höchsten Grade individuelles Organ ist, so begreift man die großen Verschiedenheiten in den Angaben über die Zahl der sichtbaren Sterne. Daß viele unter ihnen von veränderlichem Glanze und nur im Lichtmaximum dem freien Auge sichtbar sind, kommt hinzu. Nun zeigt die Erfahrung, daß zu jeder tiefern Größenklasse sehr viel mehr Sterne gehören als zu der nächsthöhern; es kann darum ein geringer Vorzug der Augen, des Fernrohrs, des Luftzustandes oder der geographischen Breite[1] die Zahl der augenblicklich sichtbaren Sterne gewaltig steigern.

Um alle Sterne an der Sphäre überhaupt abzuzählen, die unter gewissen Bedingungen sichtbar sind, muß man den Beobachtungsort wechseln, oder wie es Houzeau zur Feststellung der Zahl der mit freiem Auge sichtbaren gethan hat, sich in das Äquatorialgebiet begeben. Die den Polen benachbarten Gebiete werden dann freilich unter ungünstigen Bedingungen beobachtet. In mittlern Breiten übersieht man einen leicht zu berechnenden Teil der Sphäre, und aus den hierfür ermittelten Zahlen läßt sich auf das Ganze schließen.

Zieht man auf der Himmelskugel den der Deklination $+\delta$ entsprechenden Parallelkreis, so zerlegt man die nördliche Halbkugel in eine Zone und eine Kappe. Die Fläche der Kappe ist nach einem stereometrischen Satze gleich $2\pi r h$, wo r der Kugelradius und h die Höhe der Kappe ist. Derselbe Satz giebt für die Halbkugel, wo $h = r$ ist, die Oberfläche $2\pi r^2$, für die Vollkugel also $4\pi r^2$.

Die Zone zwischen dem Äquator und dem Parallelkreise ist also gleich $2\pi r^2 - 2\pi r h = 2\pi r(r - h) = 2\pi r^2 \sin\delta$, da, wie man leicht ableitet, $r - h = r\sin\delta$ ist. Nun wird in der nördlichen Breite φ im Laufe des Jahres nach und nach die ganze nördliche Halbkugel sichtbar und von der südlichen die Zone bis $\delta = \varphi - 90^0$; in Münster z. B. bis $\delta = 52^0 - 90^0 = -38^0$. Das gesamte zu durchmusternde Gebiet hat also[2] die Größe

$$2\pi r^2 + 2\pi r^2 \sin(90^0 - \varphi) = 2\pi r^2(1 + \cos\varphi) = 4\pi r^2 \cos^2\frac{1}{2}\varphi.$$

[1] Diese käme bei gleichmäßiger Verteilung der Sterne nicht unmittelbar in Betracht; sie sind aber thatsächlich höchst ungleichmäßig verteilt.

[2] In der im Texte unmittelbar folgenden Gleichung steht $\sin(90^0 - \varphi)$ statt $\sin(\varphi - 90^0)$, da die Fläche positiv zu rechnen ist.

Zu der ganzen Kugel verhält sich dieses Gebiet wie $\cos^2 \frac{1}{2} \varphi$ zur Einheit.

Für Münster ist $\frac{1}{2} \varphi = 26^0$; $\log \cos \frac{1}{2} \varphi = 9.95366$;

$$\log \cos^2 \frac{1}{2} \varphi = 9{,}90732 = \log 0{,}80783.$$

Heis, der mit ungewöhnlich scharfen Augen begabt war, hat durch langjährige Beobachtungen die Zahl der in Münster mit freiem Auge sichtbaren Sterne wie folgt festgesetzt:

Größe	1	1.2	2.1	2	2.3	3.2	3	3.4	4.3	4	4.5	5.4	5	5.6	6.5	6	6.7	var	cum	neb
Anzahl	8	5	3	27	18	20	59	73	49	142	122	162	427	265	477	1533	1964	41	19	7

Hier ist die Helligkeit der schwächsten Sterne 2. Größe mit 2. 3, die der hellsten 3. Größe mit 3. 2 bezeichnet u. s. w. Man bemerkt besonders beim Zusammenfassen der einzelnen Gruppen das schnelle Anwachsen der Zahl bei abnehmender Helligkeit. Die im Maximum dem freien Auge sichtbaren veränderlichen Sterne sind mit var, die Sternhaufen [1] mit cum, die Nebelflecke mit neb bezeichnet. Die Gesamtzahl der für Heis sichtbaren Objekte betrug 5421, wobei zum Vergleiche angeführt sein mag, daß Argelander, mit normalen Augen begabt, von Heis' Sternen 6. 7. Größe 1821 nicht gesehen hat. Heis hat seine südlichsten Sterne in den Tropen durch einen seiner Schüler aufnehmen lassen, da sie in Münster selbst nur in der Nähe des Horizontes sichtbar sind. Für die Umrechnung auf den ganzen Himmel hat man

$$\begin{aligned} \log 5421 &= 3{,}73408 \\ \log \cos^2 \tfrac{1}{2} \varphi &= 9{,}90732 \\ \hline \log 6711 &= 3{,}82676. \end{aligned}$$

Heis giebt als berechnete Zahl für den ganzen Himmel 6800 an; es scheinen in der That, wie auch aus seinem Sternverzeichnisse hervorgeht, die südlichsten Sterne doch nicht vollständig vermerkt zu sein. Halten wir diese Zahl 6800 fest, so können wir noch nach der mittlern Sterndichtigkeit fragen. Die Oberfläche der Sphäre läßt sich auf kein anderes Längenmaß beziehen als auf den Radius und die ihm proportionalen Bogengrößen. Nun ist der Radius gleich $360^0 : 2\pi = 57^0{,}29578$; die Kugelfläche ist gleich $4\pi r^2 = 4\pi \cdot \frac{360^2}{4\pi^2} = \frac{129\,600}{\pi} = 41252{,}9612$ Quadratgraden. Es kommt also durchschnittlich ein mit sehr gutem freiem Auge sichtbarer Stern auf $41253\ q^0 : 6800 = 6{,}067\ q^0$.

Zum Vergleiche fügen wir die Ergebnisse teleskopischer Beobachtung bei. Die von Argelander im Verein mit Schönfeld und Krüger in den fünf-

[1] Nämlich solche Haufen, die dem unbewaffneten Auge als Fleckchen erscheinen und erst vom Fernrohr in Sterne aufgelöst werden.

ziger Jahren durchgeführte Bonner Durchmusterung des nördlichen Himmels geht bis 2° südlicher Decl und umfaßt 324 198 Sterne bis zur 9. 10. Größe hinab, die in einem Fernrohre von 8 cm Objektiv-Öffnung zu sehen sind. Man hat hier die Himmelsfläche, $2\pi r^2 (1 + \sin 2^0) = 4\pi r^2 \cos^2 44^0 = \frac{129\,600 \cdot \cos^2 44^0}{\pi}$ in Quadratgraden, durch 324 198 zu teilen. Es ist

log 129600 = 5,11261	log π = 0,49715
log cos² 44° = 9,71386	log 324198 = 5,51081
log des Nenners = 6,00796	6,00796
log 0,065843 = 8,81851—10.	

Es geht also ein Stern in Bonn auf 0,06584 q°, oder auf einen Quadratgrad kommen durchschnittlich 15,188 Sterne. Die von Schönfeld allein durchgeführte Fortsetzung der Bonner Durchmusterung nach Süden bis zum 23sten Grade ergiebt im ganzen dieselben Zahlen. In sehr großen Fernrohren sind weit mehr Sterne sichtbar; die Anzahl der in unsern größten Refraktoren unter günstigen Verhältnissen überhaupt zu sehenden wird mit 20 bis 30 Millionen kaum zu hoch angeschlagen sein. Nehmen wir 25 Millionen an, so erhalten wir je einen Stern auf 0°,001650 oder 606 Sterne auf den Quadratgrad. Für eine Fläche von der Größe der Mondscheibe giebt das etwa 120 Sterne.

Eine weitere Verstärkung der optischen Mittel wird auch eine größere Zahl von Sternen sichtbar machen; wie viele für uns überhaupt jemals unmittelbar oder mit Hilfe der Photographie erkennbar sein werden, läßt sich nicht sagen; man wird sich mit den schlichten Worten des Volksliedes bescheiden müssen: Gott der Herr hat sie gezählet.

Die genaue Feststellung der Örter einer möglichst großen Anzahl von Sternen ist zunächst deshalb nötig, weil die jeweiligen Örter der Kometen und kleinen Planeten gewöhnlich durch Anschluß an Fixsternörter bestimmt werden. Sie ist aber auch Selbstzweck, da nur eine genaue Statistik Zuverlässiges über die Vorgänge im sternerfüllten Weltraume geben kann. Da nun aber die genaue Ableitung der RA und Decl eines Sternes aus Durchgängen durch bestimmte Fernrohre eine ziemlich lästige, durch die als Refraktion, Aberration, Präcession und Nutation bezeichneten Fehlerquellen wie auch durch die Instrumentenfehler in hohem Grade verwickelte Aufgabe ist, so ergiebt sich die Unmöglichkeit der Katalogisierung aller in den stärksten Fernrohren sichtbaren Sterne. Man wendet vielmehr die höchste Genauigkeit nur bei wenigen hundert Sternen an[1]; mit etwas geringerer sind schon

[1] Die Örter dieser Fundamentalsterne kennt man auf Bruchteile der Bogensekunde, die der Zonensterne auf etwa 2″, die der Durchmusterungssterne auf größere Bruchteile der Bogenminute.

mehrere hunderttausend aus den sogen. Zonenbeobachtungen bekannt, deren Vorteil darin besteht, daß allabendlich die Durchgänge einer großen Anzahl von Sternen nahezu gleicher Decl durch ein fest aufgestelltes Fernrohr beobachtet werden, wodurch sich die Korrektionen, da sie in Tafeln gebracht werden können, bedeutend vereinfachen. Noch etwas weniger genau sind die Durchmusterungen, die der angenäherten Feststellung der Sternörter behufs Eintragung in Karten dienen; das großartigste Beispiel dafür ist die erwähnte Bonner Arbeit. Sterne unter der 10. Größe sind nur in einzelnen Gebieten für bestimmte Zwecke, z. B. für die Entdeckung kleiner Planeten, in größerer Anzahl katalogisiert worden (vgl. S. 405).

Nun bietet uns die Photographie ein Mittel, mit Instrumenten von verhältnismäßig geringer Größe alle Sterne aufzunehmen, die in den größten Refraktoren sichtbar sind. Belichtet man nur lange genug, und sorgt man durch geeignete Führung (vgl. S. 407) für ein beständiges Eintreffen der Strahlen desselben Sternes auf derselben Stelle der Platte, so müssen sich am Ende auch die schwächsten Eindrücke zu merkbaren chemischen Wirkungen aufhäufen. Es wurde deshalb der Gedanke laut, durch Zusammenstellung einer großen Menge von Aufnahmen eine sehr genaue und eingehende Himmelskarte zu gewinnen, deren Angaben sich auch in Zahlen ausdrücken ließen. Auf dem astrophotographischen Kongreß zu Paris im April 1887 haben sich die Vertreter der wichtigsten Kulturstaaten dahin geeinigt, durch Verteilung der einzelnen Deklinationszonen auf leistungsfähige Sternwarten das Zustandekommen des umfangreichen Werkes zu sichern. Auf den zu benutzenden Platten soll das Millimeter der Bogenminute entsprechen, und daraus folgt, daß eine Platte von etwa 70 qcm — größer kann man sie aus technischen Gründen nicht nehmen — etwa 2 q^0 umfaßt, so daß zur Aufnahme des ganzen Himmels nicht weniger als 20 000 Platten notwendig sind. Nun muß jede Gegend zweimal aufgenommen werden, und zwar einmal mit langer Belichtung, wodurch sich zwar die schwächsten Sterne, vielleicht bis zur 15. Größe, einprägen, zugleich aber die Bilder der hellsten Sterne so groß werden, daß sie einerseits viele Bilder schwacher Sternchen bedecken, andererseits nicht mehr zum Ausgangspunkte von Messungen dienen können. Aus beiden Gründen wird auch noch mit kurzer Belichtung aufgenommen; hier bleiben die Bilder der hellen Sterne klein genug, um als Anschlußpunkte für die schwächern dienen zu können, deren RA und Decl eben durch Messung ihrer Abstände von den der Position nach anderweit bekannten hellen Sternen zu ermitteln sind. Die allerschwächsten Sterne vernachlässigt man hierbei zunächst; der auf Grund der Aufnahmen anzufertigende Katalog soll nur bis zur 11. Größe reichen, weil damit das Bedürfnis für Anschlußsterne gedeckt ist und auch so schon an drei Millionen Sterne zu vermessen sind — eine sehr langwierige Arbeit, für deren exakte



Fig. 159. Gregorianischer Turm der vatikanischen Sternwarte.

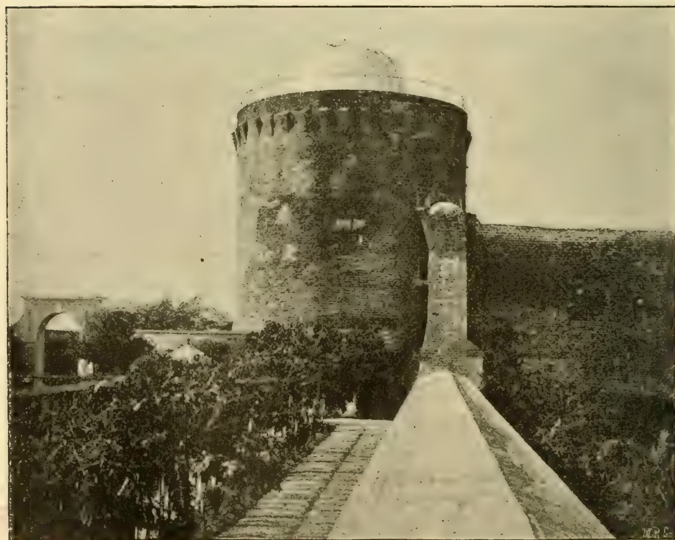


Fig. 160. Leoninischer Turm der vatikanischen Sternwarte.

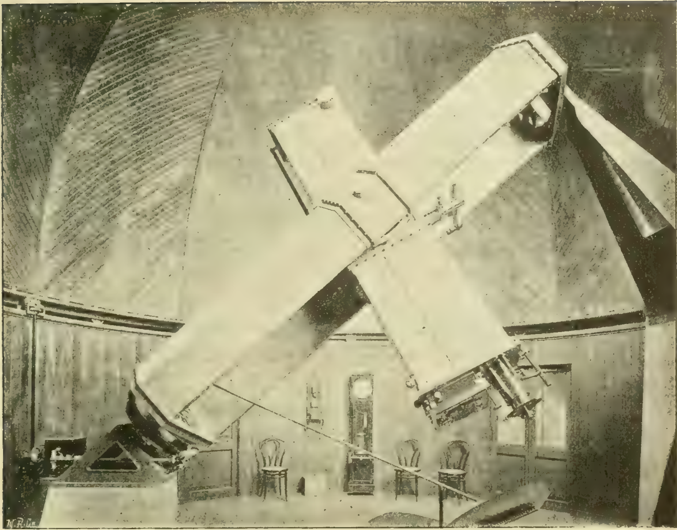


Fig. 161. Der photographische Refraktor der vatikanischen Sternwarte. 1. Ansicht.

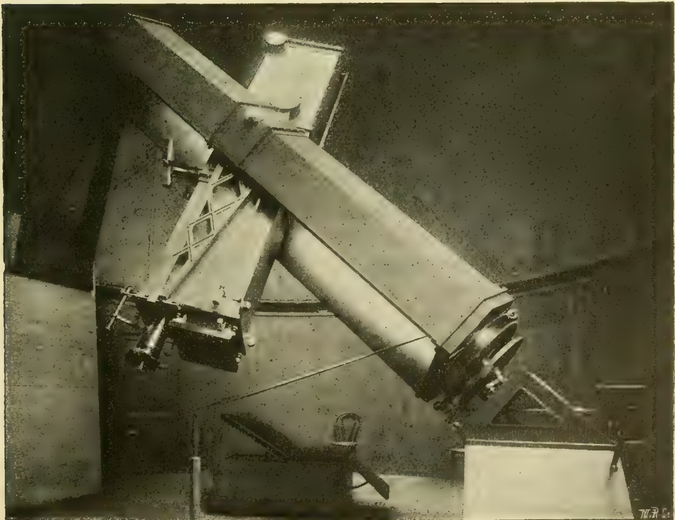


Fig. 162. Der photographische Refraktor der vatikanischen Sternwarte. 2. Ansicht.

Ausführung besondere Apparate dienen. Die vollständigen Platten bilden ein wichtiges Archiv zur Erkennung etwaiger Veränderungen am Himmel. Da wegen etwaiger Plattenfehler und anderer Unvollkommenheiten zahlreiche Revisionsplatten notwendig sein werden, so hat man die Anzahl der überhaupt erforderlichen Platten mit 50000 nicht zu hoch angeschlagen. Die Berechnung der RA- und Decl-Unterschiede aus den gemessenen Entfernungen ist wieder sehr umständlich; außer der Refraktion geht vorzüglich die sogen. Distorsion oder Randverzerrung der Bilder ein; dazu kommt, daß sich die lichtempfindliche Schicht auf dem Glase zusammenziehen kann. Um diese Fehlerquelle zu verstopfen, wird ein quadratisches Netz, dessen Maschen 5 mm weit sind, mitphotographiert und also auch mit den Sternen auf der Platte entwickelt. — Zu den bei der großen Arbeit beteiligten Sternwarten gehört auch die Specola Vaticana.

Unsere Fig. 159 zeigt den sogen. gregorianischen Turm dieser vor einigen Jahren begründeten päpstlichen Sternwarte im vatikanischen Gebiete; Fig. 160 zeigt den leoninischen Turm, benannt nach Leo IV., der ihn als Bollwerk gegen die Saracenen erbaut hat. Auf jedem der beiden Türme ist eine Drehkuppel errichtet, d. h. ein halbkugeliges Dach, welches sich um eine vertikale Achse drehen läßt und worin ein vertikaler Schlitz eine ziemlich breite, verschließbare Öffnung darstellt. Solche Drehkuppeln hat man auf den Sternwarten, um einerseits das eingeschlossene Fernrohr auf jeden beliebigen Punkt des Himmels richten, andererseits es durch Verschließung des vertikalen Schlitzes sicher bergen zu können. Von der Größe des mittelalterlichen Bauwerkes, Fig. 160, dessen Festigkeit einen besondern Vorteil für die Astrophotographie bedeutet, erhalten wir eine Vorstellung, wenn wir uns mit Hilfe der Fig. 161 und 162 in das Innere der Kuppel versetzen. Durch kräftige Stützen wird eine lange Achse parallel der Weltachse gehalten, und ein Uhrwerk, das wir (Fig. 161) links angreifen sehen, giebt ihr eine dem Gange der Sternzeit oder der Rotation der ♁ entsprechende Drehung in ihren Lagern. Es muß dann das Fernrohr, welches aus einem optischen und einem dazu parallelen photographischen Rohre (vgl. S. 407) besteht, unverrückt auf denselben Stern zeigen, wenn es in seinen Lagern einmal festgeklemmt ist. Um auf einen Stern von bekannter RA und Decl einzustellen, dreht man die erste Achse (Stundenachse) unabhängig vom Uhrwerke mit Hilfe einer Stundenteilung, worauf das Fernrohr in seinem Lager mit Hilfe der Gradteilung gedreht wird. Man bemerkt an dem Rohre, dessen Objektiv vom Beobachter abgewandt ist, ganz rechts (Fig. 161) den Sucher[1], dann den Okularkopf und links die Vorrichtung zum Anbringen der Platte, unter dem Apparat den Sessel für den Beobachter.

---

[1] Kleines Fernrohr zur schnellen Einstellung. Es ist dem großen Rohre parallel.

Die photographischen Fernrohre, welche bei der Herstellung der Himmelskarte und überhaupt bei der Astrophotographie beteiligt sind, haben nicht alle die hier angegebene Aufstellung, obwohl, wie bei allen sogen. Äquatorialfernrohren, das Princip der Drehbarkeit um eine Stundenachse und eine senkrecht dazu stehende Deklinationsachse immer gewahrt ist. Die vatikanische Aufstellung ist stehr stabil, ein großer Vorteil für die photographische Arbeit; andere Aufstellungen sind weniger standfest, dafür aber allerdings handlicher.

* * *

Seit längerer Zeit haben die statistischen Ermittelungen über den Fixsternhimmel, wie sie durch fortgesetzte Beobachtung der Sterne und Durchsicht älterer Kataloge gemacht werden, die wichtige Thatsache der Eigenbewegung der Fixsterne ergeben. Man versteht darunter die regelmäßig fortschreitenden Vergrößerungen und Verkleinerungen der Koordinaten, die die Sterne noch außer den scheinbaren Änderungen erfahren, nämlich außer der Aberration und Parallaxe, der Präcession und Nutation. Diese Eigenbewegungen, welche für eine große Anzahl von Sternen auf Grund langjähriger Beobachtungen zweifellos feststehen, lassen sich gar nicht anders erklären als durch eine fortschreitende Bewegung der Sterne oder des Sonnensystems oder auch beider im Raume. Betrachten wir diese beiden Ursachen zunächst getrennt.

Es werde also zunächst angenommen, daß alle Fixsterne auf ihren Plätzen verharren, das Sonnensystem aber als Ganzes geradlinig im Raume fortschreite. Nennen wir den Punkt der Sphäre, auf den diese Bewegung gerichtet ist, deren Apex, so werden sich sämtliche Fixsterne in Hauptkreisen vom Apex weg auf den entgegengesetzten Punkt der Sphäre, den Antiapex, hin zu bewegen scheinen. Die Bahnen, welche sie hierbei in gleichen Zeiten beschreiben, werden sphärisch um so länger ausfallen, je näher uns die Sterne stehen und je näher der Winkel, den die Gesichtslinien mit der Bewegungsrichtung des Sonnensystems bildet, einem rechten kommt. Für Sterne im Apex oder Antiapex verschwindet die scheinbare Bewegung. Die Ähnlichkeit dieses Falles mit der Radiation der Sternschnuppen (vgl. S. 470 bis 473) ist offenbar.

Es werde andererseits angenommen, daß das Sonnensystem als Ganzes nicht fortschreite, die Fixsterne aber die verschiedensten wahren Bewegungen ausführen. Wir werden dann alle diese Bewegungen in kleinen sphärischen Ortsverschiebungen widergespiegelt sehen; auch diese Verschiebungen fallen desto größer aus, je näher uns die Sterne stehen und je näher der Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Bewegungsrichtung dem rechten kommt. In jedem Falle werden aber scheinbare Bewegungen im Hauptkreise auf wahre Bewegungen in gerader Linie deuten, und wenn die scheinbaren Be=

wegungen überhaupt nur geringe Bruchteile des Kreises ausmachen, wird man aus ihrer Gleichförmigkeit auch auf die Gleichförmigkeit der wahren Bewegungen schließen können; läßt sich erst ein größeres Stück des Kreises überschauen, so wird man natürlich Abweichungen feststellen können.

Thatsächlich sind nun alle beobachteten Eigenbewegungen sehr klein und gehen nach sehr verschiedenen Richtungen; doch läßt sich das Vorherrschen einer bestimmten Richtung nicht verkennen. Der Punkt, worin sich die rückwärts verlängerten Bahnen zu schneiden scheinen, liegt, von zahlreichen Ausnahmen abgesehen, in einem Gebiete etwa zwischen 252° und 285° der RA und + 14 bis 49° der Decl, also in der Gegend des Herkules; verschiedene Forscher haben ihn auf verschiedene Weise zu bestimmen gesucht, indem sie die notwendige Auswahl aus der unübersehbaren Anzahl von Sternen mit gemessenen Eigenbewegungen auf verschiedene Weise trafen. Daß die Ergebnisse sehr voneinander abweichen, erklärt sich aus dem geringen Betrage der Eigenbewegungen überhaupt. Eine Bestimmung aus der neuesten Zeit giebt sogar eine südliche Lage des Apex. Die Thatsache an sich steht aber fest, und so muß man annehmen, daß unser Sonnensystem in fortschreitender Bewegung begriffen ist; denn es ist zwar geometrisch ebenso zulässig, eine allgemeine Bewegung der Fixsterne im entgegengesetzten Sinne zu behaupten; physikalisch ist das aber unwahrscheinlich. Das Bestehen zahlreicher Abweichungen verrät uns dann, daß außerdem die Sterne noch wirkliche Eigenbewegungen ausführen.

Der jährliche Betrag der beobachteten Eigenbewegung in Sekunden[1] ist oben (S. 482) für die Sterne angegeben, deren Parallaxen mitgeteilt sind. Nicht immer entspricht einer großen Parallaxe eine große Eigenbewegung; hieraus hat man mit einigem Rechte geschlossen, daß unsere Sonne mit einigen ihrer nächsten Nachbarsterne eine gemeinsame Bewegung vollführt, so daß sich die Verschiebungen erst an weiter entfernten Gestirnen zeigen.

Da uns die Parallaxen eine Vorstellung von dem Abstande der Gestirne von der Sonne und voneinander vermitteln, so können wir aus ihnen und den sphärischen Eigenbewegungen auch noch in etwa auf die Größe der wahren Eigenbewegungen schließen. So hat die Angabe, daß der Stern 61 Cygni die Parallaxe 0″,50 hat, den Sinn, daß die Einheitslinie des

[1] Man verstehe wohl, daß dieses die *gesamte* sphärische Eigenbewegung ist. Heißt die jährliche Änderung der RA, die nach Abzug der Präcession übrig bleibt, $\triangle \alpha$, ebenso $\triangle \delta$ die entsprechende Änderung der Decl, so kann man wegen des geringen Betrages der Bewegungen das sphärische Gradnetz als rechtwinklig ansehen und erhält dann die gesamte Eigenbewegung ε aus der Gleichung: $\varepsilon^2 = \triangle \delta^2 + \triangle \alpha^2 \cdot \cos^2 \delta$, ebenso den Winkel μ der Bewegungsrichtung mit dem Deklinationskreise aus der Gleichung $\tan \mu = \triangle \alpha \cdot \cos \delta : \triangle \delta$. Die Kleinheit der gemessenen Größen erklärt die Unsicherheit von μ.

Sonnensystems, wenn sie auf der Gesichtslinie zu jenem Stern in seinem Centrum senkrecht errichtet wird, für uns in der scheinbaren Größe von 0″,50 erscheint. Andererseits erscheint uns die seitliche Jahresverschiebung des Sternes, wenn wir sie ihm allein zuschreiben, unter einem Winkel von 5″,16, eben dem Winkel, den man sphärische Eigenbewegung nennt. Diese Verschiebung ist also gleich $\frac{516}{50} = 10,3$ Einheiten. In derselben Zeit legt die Erde in ihrer Bahn um die Sonne 2π oder 6,3 solcher Einheiten zurück. Die seitliche Verschiebung des Sternes ist also dem Betrage nach vergleichbar mit dieser uns wohlbekannten Bewegung. Für Sirius (α Can. mai.) erhält man ebenso eine wahre jährliche Seitenverschiebung von 3,5 Einheiten, und das giebt $\frac{35}{63}$ von der Geschwindigkeit der ♁ in ihrer Bahn für die Schnelligkeit des Sternes, also $\frac{35}{63} \cdot 30$ km $= 17$ km.

Nun ist es in hohem Grade unwahrscheinlich, daß sich die Fixsterne nur seitlich gegen die Gesichtslinie verschieben, mit andern Worten, daß sie Kreise um die Sonne beschreiben sollten. Das thatsächliche Bestehen des Apex verbietet das schon, von physikalischen Erwägungen abgesehen. Wir müssen also auch noch Bewegungen in der Gesichtslinie, im Visionsradius für wahrscheinlich halten. Das früher (S. 323—325) erläuterte Dopplersche Princip ermöglicht die Bestimmung auch dieser Bewegungen wenigstens bei den hellern Sternen. Das Spektrum der Fixsterne zeigt nämlich, gleich dem der Sonne, bestimmte dunkle Absorptionslinien, die mit den Linien bestimmter Metalle sowie des Wasserstoffes so genau zusammenfallen, daß an der wirklichen Existenz dieser Elemente in den absorbierenden Hüllen der Sterne nicht zu zweifeln ist. Beobachtet man aber die Spektra genauer, besonders auf photographischem Wege, so ergiebt sich beim Vergleich mit den Wasserstofflinien, wie man sie im Laboratorium beobachten und photographieren kann, die überraschende Thatsache einer Verschiebung nach dem brechbareren oder dem minder brechbaren Gebiete hin. Die Größe dieser Verschiebung ist etwas abhängig von der Jahreszeit, und zwar weil man nicht allein mit einer Bewegung des Sterns oder des ganzen Sonnensystems, sondern auch mit dem Jahreslaufe der Erde zu thun hat. Zieht man ab, was auf dessen Rechnung kommt, dann ergiebt sich, soweit es die ungemein schwierige Methode bis jetzt leisten kann, die Thatsache eines konstanten Näherkommens oder Abrückens des Sternes mit großer Deutlichkeit. Für die wenigen Sterne mit gemessener Parallaxe, wobei sich die Bewegung im Visionsradius mit einiger Genauigkeit hat ermitteln lassen, ist sie in der Tafel (S. 482) mitgeteilt; das Näherkommen wird durch das Minuszeichen, das Abrücken durch das Pluszeichen angegeben. Für Sirius fanden wir aus der seitlichen Jahresverschiebung eine Geschwindigkeit von etwa 17 km in der Sekunde;

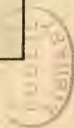
das Dopplersche Princip lehrt uns, daß er außerdem in einer Sekunde der ☉ um 16 km näher rückt. Sein wahrer Lauf ist also etwa um einen halben rechten Winkel gegen die Gesichtslinie geneigt und vollzieht sich mit einer Geschwindigkeit von etwa $\sqrt{16^2 + 17^2}$ oder 23 km. Das ist also die Bewegung des Sirius, bezogen auf die fest gedachte Sonne, oder die der Sonne, bezogen auf den fest gedachten Sirius; wieviel davon dem einen und wieviel dem andern Körper zukommt, ist eine weitere Frage. Jedenfalls haben wir planetarische, d. h. mit der Laufgeschwindigkeit der ♁ vergleichbare Schnelligkeiten erhalten. Die schnellste bisher gemessene Bewegung im Visionsradius hat ζ Herculis, der uns um 62, nach anderer Ermittlung um 70 km in jeder Sekunde näherrückt. — Die Schnelligkeit, womit die ☉ auf das Sternbild des Herkules lossteuert, ist, so sehr die Berechnungen auch sonst voneinander abweichen, gleichfalls als planetarische gefunden worden.

Es hat sich bis jetzt keine Veranlassung ergeben, die wahren Eigenbewegungen der Sonne und der Fixsterne nicht für geradlinig und gleichförmig zu halten. Thatsächlich werden die Bahnen jedenfalls gekrümmt sein, aber die Krümmung ist so schwach, daß sie sich in Jahrzehnten, vielleicht in Jahrhunderten, nicht erkennen läßt. Bei den meisten Sternen kann man sogar bis auf weiteres auch die Änderungen der RA und Decl einfach der Zeit proportional setzen.

Durch die sogen. Photometer kann man das Verhältnis der Lichtstärke eines Fixsternes zur Lichtstärke der Sonne ermitteln. Wo man die Parallaxe kennt, kann man dann noch auf Grund des Gesetzes, daß die Lichtstärke im Verhältnisse des Quadrates der Entfernung abnimmt, die weitere Frage beantworten, wie hell uns der Stern erscheinen würde, wenn er uns so nahe stände wie die Sonne. Auf diese Weise hat man ermittelt, daß von den auf S. 482 angeführten Sternen einige in Wahrheit heller sind als die Sonne, andere schwächer an Licht; der erste Fall wird in der letzten Spalte der Tabelle durch >, der andere durch < bezeichnet, während das Fehlen eines Zeichens bedeutet, daß der Stern nahezu ebenso hell ist wie die Sonne. Die Sonne nimmt also eine mittlere Stellung ein; sie gehört eher zu den hellern als zu den schwächern Sternen.

* * *

Durch die letzten Erörterungen sind wir zu der Erkenntnis gelangt, daß zwischen der Sonne und den Fixsternen ein wesentlicher Unterschied nicht besteht. In der That, wenn uns das Spektroskop eine ähnliche Beschaffenheit und das Photometer eine ähnliche Stärke des Lichtes der Sonne und der Sterne im ganzen erkennen läßt, wenn die Eigenbewegungen eine ebensolche Übereinstimmung erkennen lassen, so bleibt eigentlich nur noch in dem Vorhandensein von Planeten die Übereinstimmung festzustellen; wobei aber zu





Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 496.

Fig. 163. Die Milchstraße nach Easton.

bedenken ist, daß die eigene Natur unserer Sonne von dem Bestehen ihrer Begleitkörper ganz unabhängig ist. Es wird sich später die Möglichkeit ergeben, auch für die Fixsterne das Vorhandensein von dunkeln Begleitern nachzuweisen.

Die meisten uns sichtbaren Sterne scheinen trotz aller eigenen Bewegungen doch ein Ganzes von bestimmtem Umrisse und Gefüge zu bilden. Die Möglichkeit einer Ableitung der Gestalt und des Aufbaues unseres Weltsystems wird uns durch die prächtige Erscheinung der Milchstraße geboten.

Noch Aristoteles[1] ließ die Milchstraße durch atmosphärische Dünste hervorgerufen werden; es entging dem scharfsinnigen Forscher hierbei offenbar der Umstand, daß ein Gebilde, welches unter den Fixsternen eine bestimmte Lage hat, mit ihnen auf- und untergeht, doch jedenfalls zur Fixsternsphäre gerechnet werden muß. Theophrast (371—286 v. Chr.) hielt sie für den Reifen, womit die Hemisphären zusammengeschmiedet seien. Daß wir es wirklich mit einer Anhäufung von Sternen zu thun haben, hat Demokrit von Abdera vermutet und Galilei durch das Fernrohr zuerst bewiesen.

Die fortwährende Verbesserung der optischen Mittel hat diese Wahrheit immer bestimmter gelehrt. Jede größere Karte oder tabellarische Übersicht der teleskopischen Sterne bestätigt sie. Im allgemeinen schmiegt sich die Milchstraße einem größten Kreise der Sphäre an; je mehr wir uns diesem Kreise nähern, desto auffallender wird für das unbewaffnete Auge der milchige Schimmer, für das bewaffnete die Sternfülle. Mit andern Worten, die Zahl der sichtbaren Sterne ist desto größer, je kleiner der Winkel der Gesichtslinie mit einer bestimmten Ebene ist. Jener Hauptkreis, worin die galaktische Ebene die Sphäre schneidet, ist der galaktische Äquator, der, soweit er bei uns sichtbar ist, seinen Platz auf unserer großen Sternkarte gefunden hat, und zwar nach der Ableitung von Heis, die RA $= 12^{h}\ 41^{m},7$ und Decl $= +\ 27^{0},0$ für den Nordpol der Milchstraße ergiebt, also für den Punkt, worin die Sphäre von der auf der galaktischen Ebene errichteten Senkrechten geschnitten wird. Andere Bestimmungen weichen hiervon um einige Grade ab.

Im einzelnen ist die Milchstraße ein ungemein verwickeltes Gebilde. Ptolemäus hat uns im Almagest die älteste gute Beschreibung hinterlassen. Im 19. Jahrhundert sind mehrere eingehende und sorgfältige Darstellungen erschienen, so in den letzten 26 Jahren der Reihe nach die Zeichnungen von Heis, Houzeau, Böddiker und Easton. Alle diese Darstellungen beziehen sich auf den Anblick der Milchstraße mit freiem Auge.

---

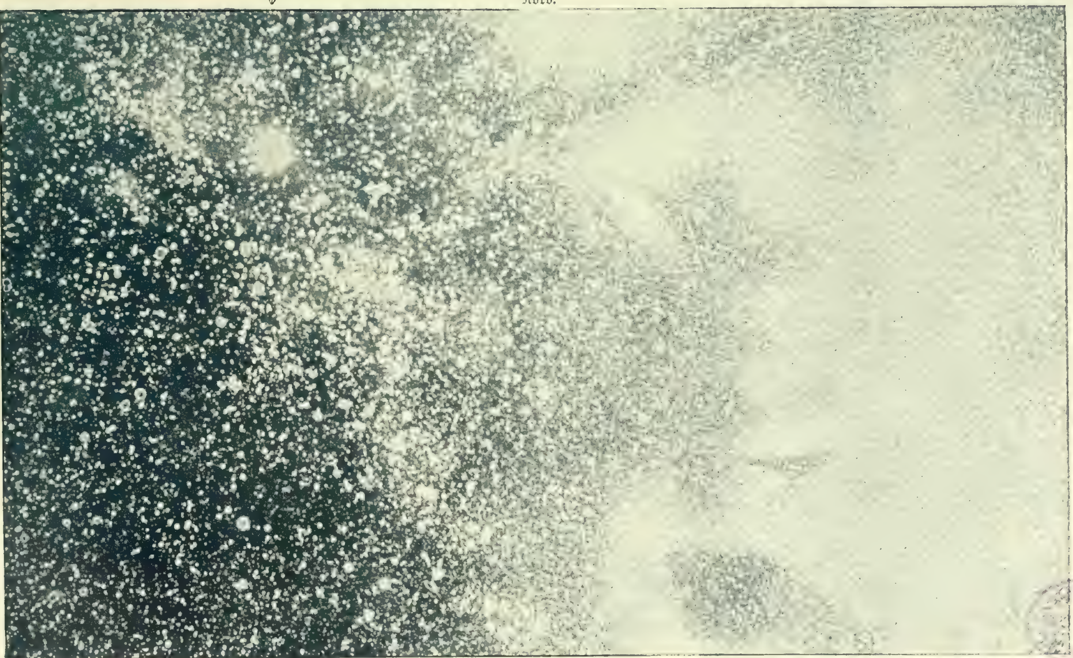
[1] Der Verfasser folgt hier, zum Teil wörtlich, seinen eigenen Ausführungen im XV. Jahresberichte des Westfälischen Provinzialvereines für Wissenschaft und Kunst.

Heis war der erste, der fünf verschiedene Lichtstufen unterschied und in seinem Atlas coelestis novus darstellte. Wie dieser Astronom viel schwächere Sterne sah als die meisten Beobachter, so sah er auch die Milchstraße viel ausgedehnter; seine fünfte Stufe dürfte nur wenigen andern Beobachtern unter sehr günstigen Umständen sichtbar sein.

Während Heis und die später genannten Beobachter die Darstellung auf das im mittlern Europa gut sichtbare oder ein noch engeres Gebiet einschränken mußten, hat Houzeau in den Tropen den ganzen galaktischen Gürtel aufgenommen. Seine Zeichnung unterscheidet sich sehr von den andern durch ein reliefartiges Gefüge, das besonders in der Gegend der einzelnen hellen Flecken hervortritt. Böddikers prächtige Darstellung zeigt im Gegensatze dazu ein strahliges Gefüge, das vielfach an Gerippe u. ä. organische Gebilde erinnert. Die schöne Aufnahme von Easton, der eine musterhafte Beschreibung beigegeben ist, entspricht im ganzen dem Bilde, das sich der Verfasser gemacht hat. Wir geben in Fig. 163 seine Hauptkarte wieder, die vorzüglich die allgemeine Helligkeitsverteilung berücksichtigt. Das obere Bild, in dessen Mitte man sofort den Schwan erkennt, zeigt links (südlich) davon die große Gabelung[1].

Wer die genannten vier Darstellungen nebeneinander gesehen hat, der gewinnt den Eindruck, daß die Milchstraßenerscheinung in hohem Grade von der Persönlichkeit des Beobachters abhängt. Hier wie bei den Planetenoberflächen zeigt sich die Verschiedenheit der Augen und der Auffassungen, sobald es sich um Gebilde handelt, die der Grenze der Sichtbarkeit nahe kommen. Bedenken wir, daß schon der einzelne Stern auf zwei Augen ganz verschieden wirken kann, indem er hier ein kleines, dort ein größeres Bildchen auf die Netzhaut malt, hier infolge physiologischer und selbst anatomischer Vorbedingungen ruhiger, dort flackernder, hier strahlig, dort einfacher erscheint; bedenken wir weiter, daß sich die Verschiedenheiten bei hellern Sternen anders als bei schwachen gestalten, und daß der galaktische Schimmer durch ein zahlloses Heer von hellern und schwächern teleskopischen Sternchen bewirkt wird: so werden wir mit der höchsten Achtung vor dem Fleiße und der Ausdauer, womit alle diese Darstellungen entworfen sind, den Wunsch

[1] Diese große Gabelung der Milchstraße wird unten (S. 500 ff.) noch besprochen werden. Sie geht teilweise durch das südliche, unserer Beobachtung verschlossene Gebiet. Ihr Verlauf, bezogen auf den nachfolgenden stärkern Hauptast, ist folgender: Cygnus, Vulpecula, Sagitta, Aquila, Scutum, Sagittarius, Telescopium, Ara, Norma, Circinus; hierauf setzt sich die wieder einfache Milchstraße durch die Bilder Centaurus, Crux, Argo nach Canis maior und Monoceros fort. Den übrigen Verlauf läßt Fig. 163 erkennen. — Von dem in RA voraufgehenden Nebenaste der Teilung ist bei uns der durch den Ophiuchus gehende Teil gut sichtbar. — Siehe auch Fig. 164 und 165.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 496.

Fig. 164. **Milchstraßengebiet südlich und westlich von γ Cygni.** Photographiert von Max Wolf 1894, Juni 29. und Juli 1.
Belichtungsdauer im ganzen $9^1/_4$ h. Maßstab: 22 mm = 1° an der Sphäre. Abstand vom Auge 1.26 m. — Die Pfeile weisen auf γ Cygni.

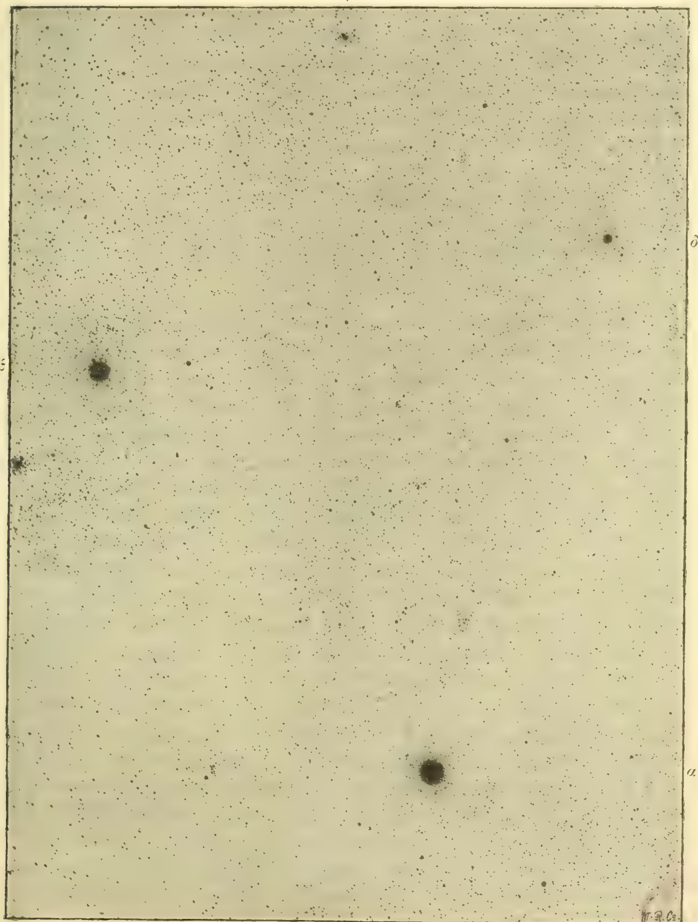


Fig. 165. Das Kreuz des Südens.
Aufgenommen mit dem „Bache"-Fernrohr an der Arequipa-Station des Harvard College Observatory.
Belichtungszeit: 2h 7m. Maßstab: 1 mm = 3′ an der Sphäre. Abstand vom Auge 115 cm.

verbinden, es möge einmal gelingen, etwa auf Grund der Abzählungen der im Entstehen begriffenen photographischen Himmelskarte und andererseits genauerer okulistischer Untersuchungen, den subjektiven Bestandteil der Er-

scheinung von dem objektiven vollständig zu trennen [1]. Allerdings bietet gerade die Photographie wieder eine eigentümliche Schwierigkeit: mit zunehmender Belichtungszeit werden schwächere Sterne sichtbar, aber die Bilder der hellern schwellen auch an, und so ist es sicher, daß eine Photographie, die mit längerer Belichtungszeit gewonnen ist, aus gehöriger Entfernung betrachtet, doch keineswegs den Eindruck wiedergiebt, den das freie Auge hat. Unser Bild Fig. 164, das die prachtvolle Milchstraßengegend bei γ Cygni wiedergiebt, läßt das besonders gut erkennen.

Trotz des vorhin betonten subjektiven Elementes ist es doch sehr wünschenswert, daß möglichst genaue Milchstraßenzeichnungen in größerer Zahl gemacht werden. Herr Easton hat dafür praktische Einzeichnungskarten angefertigt.

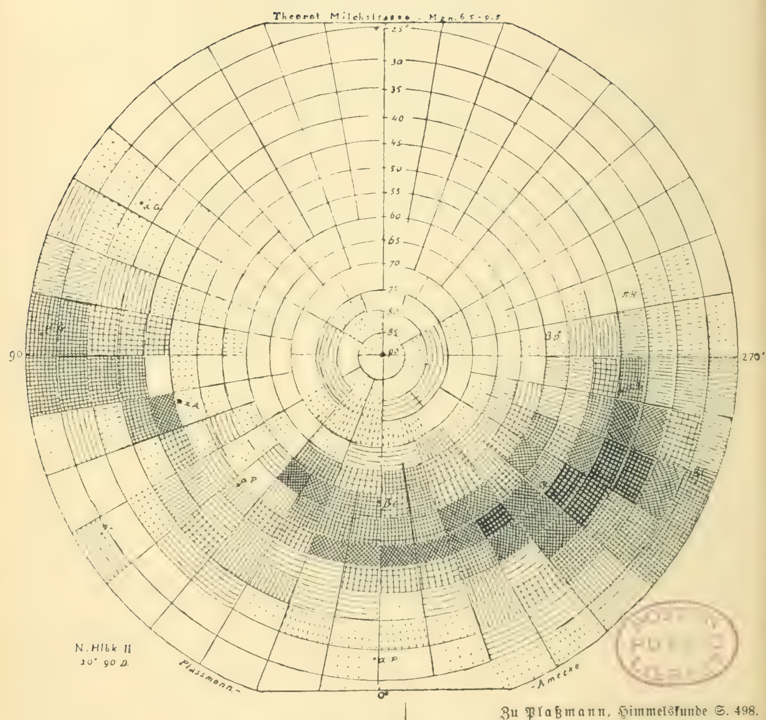
* * *

Um die Milchstraßenzeichnungen mit den vorhandenen Sternzählungen vergleichen zu können, hat der Verfasser dieses Buches vor einigen Jahren aus den sorgfältigen Abzählungen der Bonner Sterne nach Größe und Helligkeit, welche man Seeliger verdankt, eine Art theoretischer Milchstraße konstruiert. Zu diesem Zwecke wurde der Himmel in ein Gradnetz zerlegt, und für jede Masche wurde die Anzahl der Bonner Sterne auf die schwächsten als Einheit umgerechnet. Es ist nämlich im Durchschnitt ein Stern 2,51 mal so hell wie einer von der nächstniedrigeren Größe. Zählt man also jeden hellern Stern, dieser Zahl entsprechend, für mehrere der schwächsten Sterne, so erhält man für das Feld eine Summe, an die dann noch ein von der sphärischen Größe des Feldes abhängiger Faktor anzuhängen ist, um den Vergleich mit andern Feldern zu ermöglichen. Dieser theoretischen Lichtfülle entsprechend wurden die Felder, sobald die Summe 20 für den q^0 überschritt, mit Schattierungen versehen, die mit zunehmender Sternfülle dunkler wurden. Die so entstandenen Karten [2] sind in Fig. 166 und 167 wiedergegeben. Da die Zahlen an den Rändern die RA und Decl angeben, wird es dem Leser leicht sein, die theoretische Darstellung mit unserer Sternkarte und der Karte von Easton zu vergleichen; es ist jedoch zu bedenken, daß die Bonner Sterne immer noch nicht zahlreich genug sind. Um überhaupt Resultate möglich zu machen, mußte man für sehr große Felder den Durchschnitt nehmen. Das Hauptmaximum im Schwan erkennt man leicht; dagegen hat die Art der Zusammenfassung der Felder die Gabelung in der Aquila-Gegend verwischt.

---

[1] Selbstverständlich haben alle genannten Beobachter mit jeder äußern Störung, also Mondschein, Dämmerung, Zodiakallicht, künstlicher Beleuchtung u. s. w., sorgfältig gerechnet und ein durchaus objektives Bild zu bieten gesucht.

[2] Zuerst von P. Amelte in großem Maßstabe gezeichnet; die hier wiedergegebene Verkleinerung verdanke ich Herrn Easton. Näheres über die Untersuchung siehe im 3. Bande der Mitteilungen der Vereinigung von Freunden der Astronomie und kosmischen Physik.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 498.

Fig. 166. Theoretische Milchstraße; polares Gebiet.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 498.

Fig. 167. Theoretische Milchstraße; äquatoriales Gebiet.

Man kann sich über die räumliche Verteilung der Sterne auf Grund des Milchstraßenphänomens zwei extreme Vorstellungen bilden. Entweder hält man unser Weltsystem im ganzen für kugelförmig begrenzt, nimmt jedoch an, daß die wahre Sternfülle zunimmt mit der Annäherung an die galaktische Ebene, oder man giebt dem System die Gestalt eines stark abgeplatteten Sphäroides, wie es durch Rotation einer sehr excentrischen Ellipse um ihre kleine Achse entsteht. Es mögen in diesem Raume die Sterne gleichmäßig dicht verteilt sein. Das Sonnensystem befinde sich ungefähr in der Mitte des Raumes. Dann werden wir unter beiden Annahmen die Sternfülle nach dem galaktischen Äquator hin zunehmen sehen, jedoch unter der ersten Annahme gleichmäßig die Anzahl Sterne von allen Helligkeiten, während unter der zweiten Annahme die Anzahl der schwächsten Sterne schneller zunimmt als die der hellern. Seeliger hat die Bonner Sterne in sieben Klassen abgeteilt und für jede Klasse eine Verhältniszahl ermittelt, die die Schnelligkeit des Anwachsens der Sternfülle nach der Hauptebene hin angiebt. Nachstehende Übersicht giebt die Resultate dieser Untersuchung.

Klasse.	Sterngröße.	Gradienten		
		N	S	NS
1	1 bis 6,5	0,362	0,148	0,298
2	6,6 „ 7,0	0,481	0,166	0,398
3	7,1 „ 7,5	0,423	0,314	0,394
4	7,6 „ 8,0	0,472	0,246	0,413
5	8,1 „ 8,5	0,446	0,347	0,420
6	8,6 „ 9,0	0,451	0,458	0,453
7	9,1 „ 9,5	0,521	0,482	0,511

In der ersten Spalte ist die Klasse angegeben. Die erste Klasse umfaßt die mit freiem Auge sichtbaren Sterne, Größe[1] 1 bis 6,5, die zweite die Größe 6,6 bis 7,0 u. s. w., wie die zweite Spalte angiebt. In der dritten findet man die vorhin genannten Verhältniszahlen, die sogen. Gradienten[2] Seeligers, und zwar unter N die für die nördliche, unter S die für die südliche Durchmusterung gültigen, unter NS die Mittelwerte, die wir mit Rücksicht auf die ungleiche Größe der Gebiete (vgl. S. 484—486) abgeleitet haben. Wie man sieht, schwanken die nördlichen Gradienten hin und her, die südlichen wachsen entschiedener, und das Gesamtmittel zeigt ein ziemlich regelmäßiges Wachstum. Hiernach scheint im ganzen das Weltsystem sphäroidisch gebildet zu sein. Indessen legen andere Erwägungen[3] den

[1] Die Bonner Durchmusterungen geben Zehntelgrößen.

[2] Der Ausdruck ist der Wetterkunde entlehnt.

[3] Vgl. des Verfassers Abhandlung in dem 15. Jahresberichte (1887) des Westfäl. Provinzialvereins f. Wiss. u. Kunst.

Schluß nahe, daß außerdem noch die wahre Sternfülle zum Milchstraßen-äquator hin anwächst.

Da endlich, wie man leicht ersieht, auch ein ringförmiger Aufbau des Weltsystems angenommen werden könnte, also ein Aufbau aus kleinen Körpern, etwa wie bei den ♄-Ringen, wobei jedoch auch das Innere von einzelnen Körpern, wozu dann die Sonne gehören könnte, nicht ganz frei wäre — so ist auch diese Vermutung mit Hilfe der Milchstraßenzeichnungen und Sternzählungen zu prüfen.

Obwohl wir damit über den Rahmen dieses Buches eigentlich hinausgehen, wollen wir doch im folgenden Abschnitt einem der ersten Milchstraßenforscher das Wort geben zur Mitteilung einer neuen Hypothese über das Gefüge unseres Weltsystems. (Die erläuternden Fußnoten rühren vom Verfasser dieses Buches her.) Dem Anfänger mag einiges schwer verständlich sein, aber mit Hilfe der von Easton beigegebenen Figuren und der bisher erklärten Abbildungen wird man sich schon zurechtfinden.

Verteilung der Sterne im Raume.

Von C. Easton.

A. Gegenwärtiger Stand der Frage.

I. Die Sternenwelt dehnt sich in der Milchstraßenebene viel weiter aus als in der dazu senkrechten Linie.

Noch vor einiger Zeit glaubte Seeliger, freilich in bedingter Form, die scheinbare Anordnung der Sterne durch die Annahme eines sternerfüllten kugelförmigen Raumes erklären zu können. Dagegen spricht aber folgendes: 1. Plaßmann hat bewiesen, daß die Unregelmäßigkeit im Anwachsen des Seeligerschen „Gradienten“ nur scheinbar ist, und daß, etwa von der siebenten Größe abwärts, selbst die relativ hellern Sterne durch ihre scheinbare Verteilung eine wirkliche Verteilung in einer flachen Schicht andeuten[1]. — 2. Celoria hat bewiesen, daß in der Richtung der Milchstraßenpole die Zahl der schwachen Sterne, etwa von der elften Größe abwärts, nicht merklich mehr zunimmt (Mailänder Veröffentl. 1878). — 3. Kapteyn kommt auf einem ganz andern Wege zu dem Schluß, daß der mittlere Abstand der Sterne im Milchstraßengürtel weit größer ist als außerhalb seiner. Nimmt man an, daß die wahre Größe und Helligkeit der Sterne in allen Teilen des Raumes innerhalb sehr weiter Grenzen verschieden ist, so kommt man wieder auf das unter 1. Gesagte (Verslagen 1892/1893).

Herschels erste Hypothese[2] und die von W. Struve sind heute nicht mehr zulässig. Abgesehen von Gegengründen, die sich aus der Beobachtung der Einzelheiten der Milchstraße ergeben, ist die Theorie der gleichmäßigen Verteilung von Sternen gleicher wahrer Größe nicht verträglich mit dem Zusammenhange zwischen der Verteilung der hellen und der schwachen Sterne in der Milchstraße (Easton in den Astronom. Nachrichten Nr. 3270). Aber im Gegensatze zu dem am Schlusse des angezogenen Aufsatzes Gesagten stimmen diese Ergebnisse gut mit einer

[1] Siehe oben S. 499.

[2] Sie wird noch in mehreren populär-wissenschaftlichen Büchern auseinandergesetzt.

gleichmäßigen Verteilung von Sternen ungleicher wahrer Größe, wenn man annimmt, daß sich die Sternenwelt vorzugsweise in einer Ebene ausdehnt (Fig. 168, a).

II. a) Über diese dünne Schicht sind die Sterne nicht gleichmäßig ausgebreitet; b) man beobachtet eine große Verschiedenheit und Unregelmäßigkeit in den Einzelheiten dieser Verteilung; c) dennoch giebt es Anzeichen für eine nicht ganz zufällige Ausbreitung.

Zu a). Offenbar giebt es, wie auch W. und J. Herschel zugaben, thatsächliche Verdichtungen in der Milchstraße.

Zu b). Die Behauptung wird hinreichend durch die Photographien bewiesen.

Zu c). Eine rein zufällige und unregelmäßige Ausbreitung würde zu dem Schlusse führen, daß die Sterne, einzeln oder in Verdichtungen, durch alle Teile der dünnen Schicht verstreut wären; nun hat aber schon J. Herschel darauf hingewiesen, daß die Milchstraßengegend, wo sich der „Kohlensack" findet [1], unendlich wahrscheinlich macht, daß wir dort durch eine sehr dünne, von uns sehr weit abstehende Schicht sehen. Darauf ist erwidert worden, daß man durch das Laubwerk eines Baumes viele Fleckchen des blauen Himmels sähe; aber der eigentümliche, ziemlich regelmäßige Bau der „Milchstraßenlöcher" schließt doch den Vergleich mit jener Erscheinung aus. Ich habe sogar beweisen können, daß sich bei dem „nördlichen Kohlensack" zwischen α Cygni und α Cephei [2] die Sterne der Umgebung ziemlich regelmäßig um die „Öffnung" gruppieren. Wenigstens in einzelnen Fällen sind diese Öffnungen bestimmt keine Durchblicke zwischen Sternhaufen, die in sehr verschiedenen Abständen stehen, sondern wirkliche Öffnungen in einer aus Sternen gebildeten Schicht oder Zone. Daraus folgt natürlich nicht, daß die ganze Milchstraße eine solche bandartige Zone wäre. Andere Beweise haben J. Herschel (Outlines § 788, 792) und Proctor (Monthly notices XXX) beigebracht. Die von der Milchstraße ausgehenden langen hellen Streifen sprechen auch noch zu Gunsten meiner Ansicht.

Endlich zeugt der allgemeine Anblick der Milchstraße von einer gewissen Regelmäßigkeit: so die beiden großen Äste, die Zweiteilung im Perseus, im Einhorn u. s. w., die Fleckenreihe im Adler, die langen dunklen Spalten, z. B. zwischen ρ und 74 Fl. Cygni, und so manches andere, selbst einige Photographien, z. B. die von Wolf gemachte Aufnahme der Gegend um γ Cygni, obschon hier die großen Züge des Bildes gewöhnlich durch die reichen Einzelheiten verwischt werden.

III. Man ist natürlich geneigt, diese Anzeichen von Regelmäßigkeit durch die Ringtheorie zu erklären.

1. Sie entspricht am besten dem unmittelbaren Anblicke: ein spiraliger Ring von sehr kleinen Sternen steht zwischen gleichmäßig verteilten Sternen von verschiedener Größe (nach Proctor) oder jenseits ihrer. Aber die Gruppierung der hellen Sterne nach der Milchstraße ist, worauf Schiaparelli hingewiesen hat, schon dem freien Auge erkennbar, und die beobachtete Beziehung zwischen den Sternen verschiedener Größenklassen in den Milchstraßenflecken (Astronom. Nachrichten Nr. 3270) beweist, daß dieser erste Anblick falsch ist.

2. Bleibt nur übrig: es bestehen Anhäufungen von Sternen verschiedener wahrer Größe in einer grob ringähnlichen Zone, wobei das Innere nicht ganz von Sternen frei ist. Diese Theorie trägt gut den hauptsächlichen Eigentümlichkeiten Rechnung, die die beiden Herschel angegeben haben, auch der von mir (Astronom. Nachrichten

[1] Eine auffallend dunkle Lücke in der südlichen Milchstraße. Den Anfang dieses Gebietes sieht man Fig. 165 unten links, wo die Sternfülle merklich abnimmt.

[2] Eastons Darstellung zeigt diesen „Kohlensack"; vgl. Fig. 163.

Nr. 3270) angegebenen Beziehung, die sich allerdings (siehe I.) auch anders erklären läßt. Die Theorie steht in keinem Widerspruche mit Kapteyns Ergebnissen.

IV. Ein einfacher Ring genügt nicht zur Erklärung der beobachteten Milchstraßengestalt; besser nimmt man zwei gegeneinander geneigte Ringe an.

1. Welches ist der theoretische Anblick eines aus Sternen verschiedener wahrer Größe gebildeten Milchstraßenringes, wenn sich die Sonne (a) im Centrum des Ringes

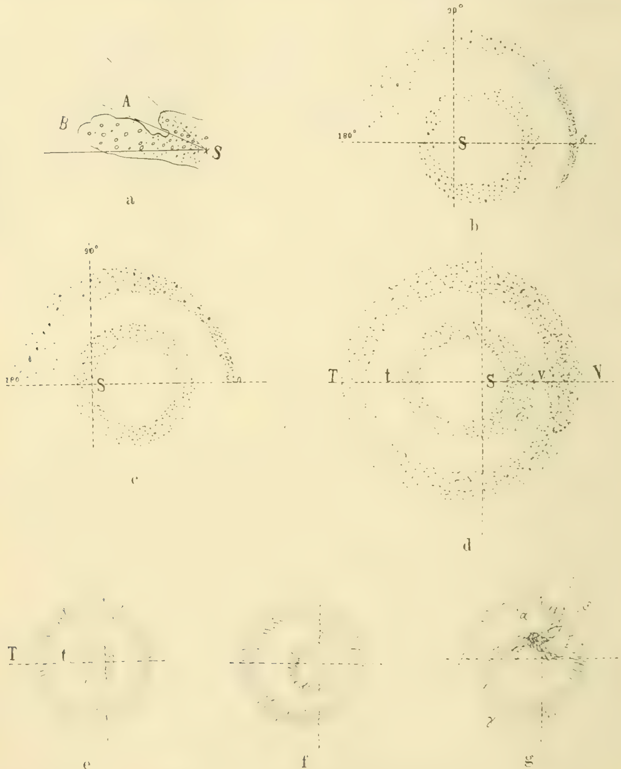


Fig. 168. Zur Eastonschen Milchstraßentheorie I.

befindet oder (b) excentrisch in seinem Innern, (c) auf dem innern Rande, (d) im Ringe selbst, (e) auf dem äußern Rande? Offenbar sind nur die Fälle b, c und d zu betrachten; man kann für jeden von ihnen den Anblick des Ringes wie folgt ableiten: Die nachstehend erwähnten Bilder geben im innern Ringe die wahre, im äußern die scheinbare Verteilung, diese zum Teil nur für die eine Hälfte. (In d ist S versehentlich zu weit nach links geraten.)

Fall (b). Minimum des Milchstraßenglanzes bei 180°, Maximum bei 0°; Maximum der Breite bei 180°, Minimum bei 0°; in dem Gebiete 90° bis 180° viele helle Sterne (Fig. 168, b).

Fall (c). Glanz bei 180° sehr schwach, Maximum bei 60°; Maximum der Breite bei 180° (sehr verschwommen), Minimum bei 0°; Maximum der hellen Sterne bei 90° (Fig. 168, c).

Fall (d). Kein Milchstraßenglanz bei 180°, wenig zwischen 180° und 90°, Maximum bei 30°; Breite zwischen 90° und 180° unbestimmt, Minimum bei 0°;

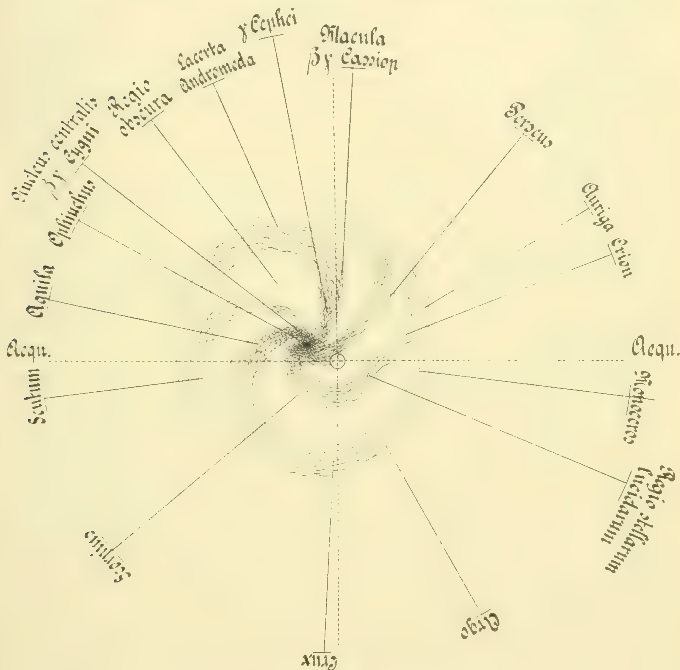


Fig. 169. Zur Eastonschen Milchstraßentheorie II.

Maximum heller Sterne bei 80°. Der scheinbare Milchstraßenring schließt sich nicht mehr (Fig. 168, d).

2. Nun ist aber der Anblick der Milchstraße mit freiem Auge durch das starke Übergewicht des Glanzes im Adlergebiete, zwischen Cassiopeia und dem südlichen Kreuze, gekennzeichnet. In der Ringtheorie hätte man also eine sehr excentrische Stellung der Sonne, nach dem Sternbilde des Einhorns zu, anzunehmen. Fall (b).

Bemerkungen. Im Verlaufe unserer allgemeinen Betrachtung kann von Möglichkeiten abgesehen werden, die von zufällig systematisch nach einer Seite aufgehäuften Unregelmäßigkeiten herrühren, Unregelmäßigkeiten der Breite sowohl als auch des

Glanzes, die sich trügerischerweise als die Folgen allgemeiner Ursachen darstellen. Es ist ferner gestattet, an einer bestimmten Stelle des Himmels die Gesamtfülle der Sterne dem Glanze der Milchstraße proportional zu setzen. Hierbei sei noch bemerkt, daß J. Herschel geirrt hat, wenn er in dem glänzenden Anblicke der Milchstraße in Argo und dem Kreuze einen Beweis für die große Nähe des Gebietes erblickte.

3. Dann aber stimmt die Breite der Milchstraße, allgemein genommen, gar nicht zur Theorie.

a) Die Milchstraßenzeichnungen entsprechen ihr nicht, der Breitenunterschied der Milchstraßengebiete von 6^h und 18^h der RA erscheint sicherlich nicht so groß, wie es der umgekehrte Helligkeitsunterschied im Sinne des Falles (b) verlangt[1].

b) Wir besitzen jedoch noch ein zuverlässigeres Mittel in Celorias Abzählungen der Sterne bis zur elften Größe herab in einer Zone von 0^0 bis $+ 6^0$ galaktischer[2] Breite (Pubbl. del osserv. di Brera, Milano, XIII, 1878). Seine Tafel V lehrt, daß in 18^h die Milchstraßenbreite $1^1/_2$mal so groß ist wie in 6^h; der in RA nachfolgende Hauptast, der durch den Adler geht, ist schon für sich allein etwas breiter als die ganze Milchstraße im Einhorn und Orion[3].

Ebenso ergeben die Sternaichungen[4] W. Herschels in Bezug auf die schwächsten Sterne die Milchstraße in 18^h breiter als in 6^h, und auch hier ist der Hauptast in 18^h mindestens ebenso breit wie das ganze Gebiet in 6^h (Celoria a. a. O. Tafel VI).

4. Kann der Grund für diese Abweichung darin liegen, daß der Ring in der einen Hälfte seines Umfanges thatsächlich doppelt ist, daß die beiden Bestandteile dieser Hälfte in gleichem Abstande vom Centrum in etwas verschiedenen Ebenen liegen? Auf Grund der ältern Karten könnte man das glauben, wenn folgende Thatsachen bestreitbar wären:

a) Die Teilung in diese „klassischen" zwei Äste ist keineswegs so einfach, wie sie die ältern Zeichnungen darstellen.

b) Die andere, im Sinne der Theorie unverdoppelte Hälfte hat auch gar kein einfaches Gefüge (vgl. auch das vorhin über zufällige Anhäufungen Gesagte).

Indessen könnte man, von den Einzelheiten absehend, das Milchstraßenphänomen angenähert durch Annahme zweier Hauptebenen darstellen. So haben es Struve, Gould, Celoria und Ristenpart gehalten. Celoria behandelt die Frage auf Grund der Ergebnisse seiner vorhin genannten Schrift. Aus seinen Sternzählungen schließt er ohne Rücksicht auf das galaktische Bild auf „zwei Milchstraßenringe, die 19 bis 20^0 gegeneinander geneigt sind, und nach denen zu sich alle sichtbaren Sterne aufhäufen". Der eine enthält die sehr weiten, der andere die relativ nähern Sterne. Ob diese Ringe bei ihrer scheinbaren Kreuzung wirklich miteinander verschmelzen, will Celoria nicht entscheiden. Der entferntere Ring soll sich in dem durch Scutum. Sagitta, Auriga etc. gehenden Hauptaste auf die Sphäre projicieren, der nähere in dem Ophiuchus-Arme, den Orion-Ästen und der Zone heller Sterne (J. Herschels und Goulds „Belt").

V. Diese gegeneinander geneigten Ringe müssen ungleiche Größe haben. Die Sonne wäre nahe dem innern Rande des kleinern und excentrisch im Innern des größern Ringes.

---

[1] Es entspricht die Richtung 0^0 der Fig. 168, b der RA von 18^h. Zum Beweise der im Texte ausgesprochenen Sätze vgl. Eastons eigene Karte, Fig. 163 dieses Buches. Auch die andern Zeichnungen bestätigen dieselben.

[2] D. h. auf die galaktische Ebene bezogener.

[3] Also gerade gegen die Theorie, welche das lichtschwächere Gebiet breiter ergiebt.

[4] Systematische Abschätzungen der Zahl der schwachen Sterne.

1. Es ist eine bemerkenswerte, von Celoria nicht ausdrücklich angegebene Eigentümlichkeit, daß, wenn man die Milchstraße auf zwei Ringe zurückführen zu können glaubt, J. Herschels Gebiet (Belt) von hellen Sternen in dem sekundären Ringe komplementär zum Glanze der Milchstraße ist. In der Zone Ophiuchus-Cassiopeia-Orion-Canis maior-Crux-Scorpius sind die glänzenden Sterne dort selten, wo die Milchstraße sehr glänzend ist, also vom Ophiuchus über Lyra nach Cygnus; zahlreich dort, wo der Milchstraßenschimmer schwach ist, also in Orion und Argo. Gould hatte selbst bemerkt, daß sein „Belt“ nicht scharf durch Ophiuchus u. s. w. gelegt werden konnte (Results I. 354). Diese Eigentümlichkeit führt uns auf den Fall (c) oder zwischen (b) und (c): die Sonne ist nahe dem innern Rande des sekundären Ringes.

2. Die beiden Ringe können nicht nahezu gleich groß sein, weil ihre Schnittpunkte (Crux, Cassiopeia) ungefähr 180° voneinander abstehen, was wegen der offenbar excentrischen Stellung der ⊙ im innern Ringe für gleich große Ringe unzulässig ist. Je kleiner man den innern Ring macht, desto weniger macht diese Stellung aus.

VI. Indessen trägt auch die so geänderte Ringtheorie den Thatsachen noch keine genügende Rechnung. Einige Züge des in V. gezeichneten Bildes können wahr sein, das Ganze ist aber ungenau.

1. Der Einwand V, 2 ist nicht ganz aus dem Felde zu schlagen.

2. Das aus den besten Karten gewonnene wahre galaktische Bild läßt für zwei geschlossene Ringe keine Möglichkeit.

3. Selbst die klassische Zweiteilung von Cygnus bis Centaurus (oder Circinus) wird mehrmals durch Lichtbrücken unterbrochen, die nach allen Richtungen gehen, dergestalt, daß auf einigen Karten die zwei Äste nicht einmal wiederzufinden sind (Böddicker, Gould). Diese Brücken müßten aber eine unverhältnismäßige Länge haben, um (Fig. 168, e[1]) den Zwischenraum zwischen t und T auszufüllen. Selbst in den großen Zügen ist das Phänomen offenbar verwickelter, als die Hypothese der zwei Ringe annimmt.

VII. Folgerungen:

1. Die Erscheinung der Milchstraße in ihrer Gesamtheit ist zu erklären weder

a) durch die Annahme einer gleichmäßigen Sternverteilung noch

b) durch einen einzigen aus kleinen Sternen zusammengesetzten und unabhängig von den gleichmäßig verteilten hellen Sternen bestehenden Ring, noch auch

c) durch einen geschlossenen aus Sternen von ungleicher wahrer Größe und Helligkeit aufgebauten Ring, der einen mittlern Sternhaufen oder eine Sternschicht umgiebt, und auch nicht

d) durch zwei gegeneinander geneigte Ringe, deren kleinerer mehr oder weniger excentrisch im Innern des großen steht, und wo sich die Sonne wieder im Innern des kleinen und zwar in der Nähe des innern Randes befindet. Allerdings scheint diese letzte Erklärung den Hauptthatsachen leidlich gute Rechnung zu tragen, aber thatsächlich ist die Erscheinung jedenfalls viel verwickelter.

2. Noch weniger zuläßig ist eine ganz chaotische Verteilung (II, c).

3. Wenn nicht für das Gesamtphänomen, könnte Celorias Hypothese von den zwei Ringen teilweise richtig sein, nämlich so, daß der größere Teil der uns um-

---

[1] Diese Figur stellt zwei wirkliche Ringe im Raume dar, im Sinne der zuletzt besprochenen Hypothese, nicht einen wirklichen Ring mit seinem sphärischen Bilde, wie die vorhergehenden Figuren.

gebenden Sterne und Sternhaufen in Schichten von geringer Tiefe angeordnet wäre, die entweder unregelmäßige und zerrissene Ströme oder Ringsegmente in sehr verschiedenen Abständen von der ⊙ bildeten; diese Ströme und Kurvenstücke würden sich hauptsächlich in zwei etwas gegeneinander geneigten Ebenen ausbreiten, deren Durchschnittslinie zufällig nicht weit von der Sonne vorbeiginge[1].

B. Eine neue Hypothese.

I. Bei γ Cygni kann ein centraler Kern liegen. Der Milchstraßenfleck[2] $\beta\gamma$ Cygni ist von besonderer Art:

1. in Bezug auf seine Stellung: nicht ganz im Nebenaste, auch nicht ganz auf dem galaktischen Äquator;

2. durch seine Helligkeit und Ausdehnung. Es giebt zwar hellere (Scutum, γ Sagittarii), aber nirgendwo ist ein heller Fleck von dieser Größe zu finden.

3. Durch seine Umgebungen: obschon ziemlich freistehend, hängt er mit den Flecken nordöstlich von α Cygni zusammen, und das glänzende Gebiet des Hauptastes der Gabelung geht fast genau in der Höhe von β Cygni zu Ende. Der Ophiuchus-Arm stellt sich als ein Anhängsel dar.

4. Dieser Fleck ist das einzige helle Gebiet des vorausgehenden Astes.

II. Von diesem Kerne gehen Windungen aus.

1. In Fig. 168, e und f sieht man, daß dieses Cygnus-Gebiet im Sinne der modificierten Zweiringetheorie nahe dem Centrum des Systems liegen müßte.

2. Windungen erklären ebensowohl das Ringartige einzelner Milchstraßenteile wie den Eindruck von mehr oder weniger durch die Perspektive verkürzten Strömungen, den andere Teile darbieten.

3. Zwischen den Windungen werden sich Streifen von dunkeln Flecken bilden; man kann immer Durchbohrungen wie die Kohlensäcke erklären.

4. Wenn die sogen. Holdenschen Ellipsen richtig sind, läßt sich diese besondere Art der Sternverteilung gleich vielen andern Eigentümlichkeiten im einzelnen, die die Photogramme anzeigen, nur durch die Annahme erklären, daß uns einzelne Milchstraßengebiete sehr nahe stehen.

5. Leicht erklären sich die abgetrennten Milchstraßengebiete[3], die Gabelungen u. s. w. Jene dürften meistens Sternzüge sein, die bis in die Nähe der Sonne dringen oder sie thatsächlich kreuzen.

III. Es scheinen wenigstens drei Systeme von Windungen zu bestehen:

1. Die ersten gehen vom Kern bei γ Cygni aus und bilden die nördlichen Milchstraßenäste bei 50 A Cassiopeiae, krümmen sich nach β Cassiopeiae, wobei ein Nebengebiet nach γ Persei hinzieht, und kommen durch Andromeda, Lacerta und Cygnus zurück (Fig. 168, g, α).

2. Das zweite System bildet den Ophiuchus-Ast, schneidet das Sonnensystem und bildet die Äste des Orion u. s. w. (β in der Figur).

3. Die andern Windungen entstehen bei α Cygni, krümmen sich zum Adler und gehen über die Südhalbkugel sowie über Monoceros und Auriga (γ in der Figur).

Die hellen Gebiete im Adler und bis zum Kreuze des Südens scheinen relativ unabhängige Bildungen zu sein, vielleicht äußere Anhängsel der Windung γ, die man verkürzt sieht.

---

[1] Um zu erklären, daß ziemlich genau die Hälfte der Milchstraße gegabelt ist.

[2] Fig. 163, 164 und 166 zeigen dieses Maximum aufs deutlichste, auch wird es unsern Lesern am Himmel selbst bekannt sein.

[3] Die sogen. Wolken (nubecula maior, nubecula minor) des südlichen Himmels.

IV. 1. Die (von Gould, Schiaparelli, Kapteyn bemerkte) Anhäufung von hellen Sternen nach der Sonne zu erklärt man entweder durch eine sekundäre Anhäufung in einer der Windungen oder wahrscheinlicher als Ausdruck einer gemeinsamen Bewegung der Sterne auf ein Centrum zu, das nicht weit von der Sonne liegt und vielleicht mit dem centralen Milchstraßenkerne ($\beta\,\gamma$ Cygni) zusammenfällt. Es ist bemerkenswert, daß Kapteyn das Verdichtungscentrum der Sterne in $0^h + 42^\circ$ legt, also nicht sehr weit vom Schwan.

2. Im einzelnen werden selbstverständlich diese Windungen sehr unregelmäßig gebaut sein.

3. Ohne in weitere Einzelheiten zu gehen, betonen wir doch, daß die Hypothese auch noch folgendes bündig erklärt: den Bau der Milchstraße im Schwan, die Züge von hellen Flecken im Adler und Schützen, den „Belt“ von hellen Gestirnen, die Bildungen im Kreuz des Südens, das schwache Gebiet im Perseus u. s. w. (vgl. Fig. 169).

Die Hypothese drängt sich nicht durch die Wucht der Thatsachen auf, aber sie widerspricht den Beobachtungen nicht, und bei dem gegenwärtigen Stande des Wissens erklärt sie diese vielleicht am einleuchtendsten.

Vierunddreißigstes Kapitel.

Sternhaufen und Nebelflecken. — Unbegrenztheit des Weltalls.

Die Erörterung des Milchstraßenphänomens lehrte uns ein Weltsystem kennen, ein kosmisches Gebilde von außerordentlicher Schönheit und Mannigfaltigkeit, von unfaßbarer, staunenswerter Größe. Der Erdball ist groß, aber er verschwindet, wenn er mit der Sonnenkugel verglichen wird; diese selbst ist ein Nichts im Vergleich mit dem weiten Raume, wo ihre Schwere herrscht und die äußersten Planeten im Laufe mehrerer Menschenalter, die äußersten periodischen Kometen vielleicht erst in Jahrtausenden um sich herumführt. Aber was ist dieser Raum, das beschränkte Wirkungsgebiet einer einzigen Sonne, wenn wir in ihm wieder nur einen kleinen Teil eines unaussprechlich größern, erhabenern Gebildes erblicken dürfen, wenn die glänzende Tagesleuchte, für uns die Quelle von Wärme und Lebenskraft, aus jenen Fernen geschaut, auch eben nur ein freundliches Sternchen ist, vielleicht nicht einmal ein auffallendes, wenn es vielleicht anderswo Beobachter giebt, die dieses Lichtpünktchen nur nach einer Nummer benennen oder gar nur verdrossen auf einer Belichtungsplatte mit vielen andern Pünktchen abzählen?

Ist die Milchstraße das Weltall? Der schlichte Verstand kann sich keine Grenze des Raumes vorstellen[1], er strebt weiter hinaus, und erst eine streng diskursive Betrachtung[2] kann die Möglichkeit einer unbegrenzten Welt

---

[1] Schiller hat diesem Gedanken in dem schönen Gedichte „Die Größe der Welt“ Ausdruck geliehen.

[2] Auf diese wird später (S. 519—521) zurückgekommen werden.

von endlicher, wenn auch nicht meßbarer Größe aufzeigen. Es giebt aber stellare Gebilde, die uns die Vermutung nahe legen werden, daß wir mit der Milchstraße noch nicht abschließen dürfen, daß die Grenzen viel weiter zu stecken sind. Das sind die Sternhaufen und Nebelflecken.

Um zu richtigen Vorstellungen über diese Gebilde zu kommen, betrachten wir zunächst eine Sterngruppe, die noch nicht zu ihnen gehört, nämlich die Hauptgruppe im Haare der Berenice. Ein mäßig gutes Auge sieht hier in der Form eines λ sechs schwache Sterne geordnet, die aber doch in Rücksicht auf den geringen Umfang des eingenommenen Gebietes als hell gelten müssen, da eine so enge Zusammendrängung von Sternen dieser Größe (der 5.) im ganzen selten ist. Das Fernrohr enthüllt noch eine weit größere Zahl verhältnismäßig heller Gestirne in dieser Gruppe, und auch ihre nächsten Umgebungen sind noch ziemlich sternreich. Trotzdem kann man diese grob zerstreute Gruppe noch nicht einen Sternhaufen im eigentlichen Sinne nennen.

Einen Übergang bildet die schöne Gruppe der Plejaden oder des Siebengestirns [1] am Halse des Stieres. Ein normales Auge sieht hier sechs Sterne, ein besseres bis zu elf (Heis), das Fernrohr zeigt eine viel größere Zahl. Die hellsten Sterne der Gruppe sind in nachstehender Übersicht zusammengestellt:

Tauri	Pleiadum	m	Tauri	Pleiadum	m
16	Celaeno	6.7	23	Mérope	5.4
17	Elektra	4.5	η 25	Alcyone	3
q 19	Taygeta	5	28	Pléjone	6.7
20	Maja	5	27	Atlas	4

Hier giebt die erste Spalte die Flamsteedschen Nummern sowie die Buchstaben η und q in Bezug auf das Sternbild des Stieres; die zweite giebt die Namen, die dritte nach Heis die Größen.

Unsere Fig. 170 zeigt die Plejaden nach einer vatikanischen Photographie zugleich als Probe für die Dimensionen der photographischen Himmelsaufnahmen; denn die hier angewandte Skala, 1 mm = 1′, ist die für die Platten vereinbarte. Der Leser kann sich also durch Vergleichung der Gruppe mit dem Himmel ein Bild von der Genauigkeit der Aufnahmen machen. Die Platte ist eine Stunde lang belichtet worden.

Obgleich es geometrisch möglich ist, daß alle diese Sterne in Wahrheit keine Gruppe bilden, sondern nur zufällig miteinander und mit

[1] Siebengestirn, obgleich normale Augen nur sechs wahrnehmen. Quae septem dici, sex tamen esse solent. *(Ovid.)* — Der Volksmund bezieht den Namen Siebengestirn auch wohl auf die Hauptgruppe des Großen Bären.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 508.

Fig. 170. **Die Plejaden.** Nach einer vatikanischen Photographie.

Belichtungsdauer 1h. Maßstab: 1 mm 1′ an der Sphäre.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 509.

Fig. 171. **Die Plejaden.** Nach einer vatikanischen Photographie.

Belichtungsdauer 4h. Maßstab: 1,6 mm = 1′ an der Sphäre; die Quadratseiten des Netzes je 5′.

der ☉ nahezu in einer sehr langen geraden Linie stehen, so ist doch diese Annahme, wie man leicht einsieht, höchst unwahrscheinlich. Die Parallaxen hat man noch nicht bestimmen können, dagegen haben wiederholte sorgfältige Messungen ergeben, daß die hellsten Sterne eine ge-

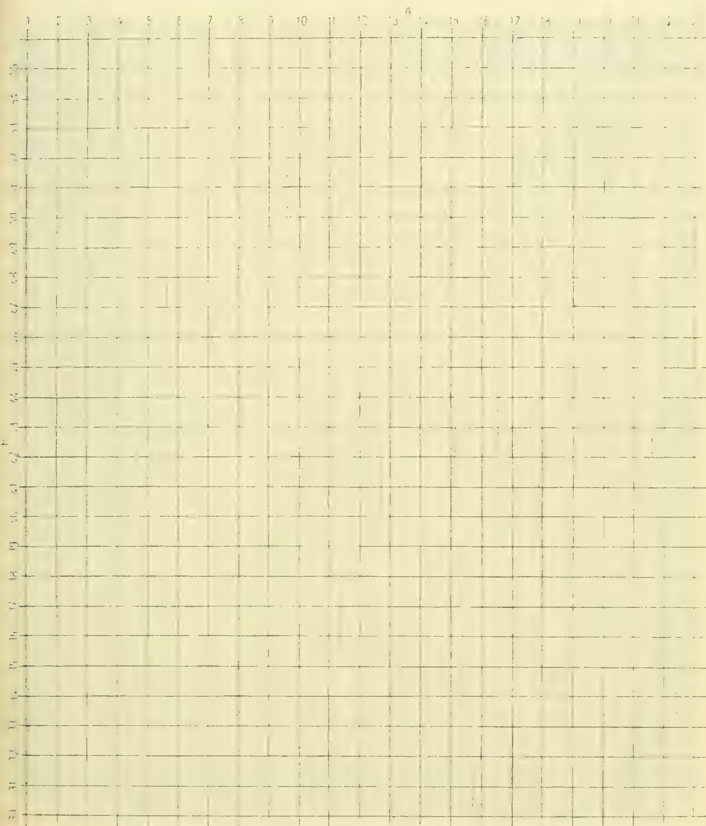


Fig. 172. Größe der Sternscheiben bei verschiedener Belichtungsdauer.
Nach einer vatikanischen Aufnahme.

meinsame Eigenbewegung besitzen, woran die schwächern keinen Teil haben. Hiernach hat man sich vielleicht vorzustellen, daß die Konstellation aus zwei weit voneinander getrennten Gruppen besteht, deren nähere sich auf die weitere projiciert.

In Fig. 171 sehen wir das Hauptgebiet der Plejaden auf Grund einer in dem etwas größern Maßstabe 1,6 mm = 1′ aufgenommenen vatikanischen Photographie. Folgende Unterschiede fallen hier auf: 1. Das Netz, welches zum Ausmessen der Schichtverzerrung (vgl. S. 490) dienen soll,

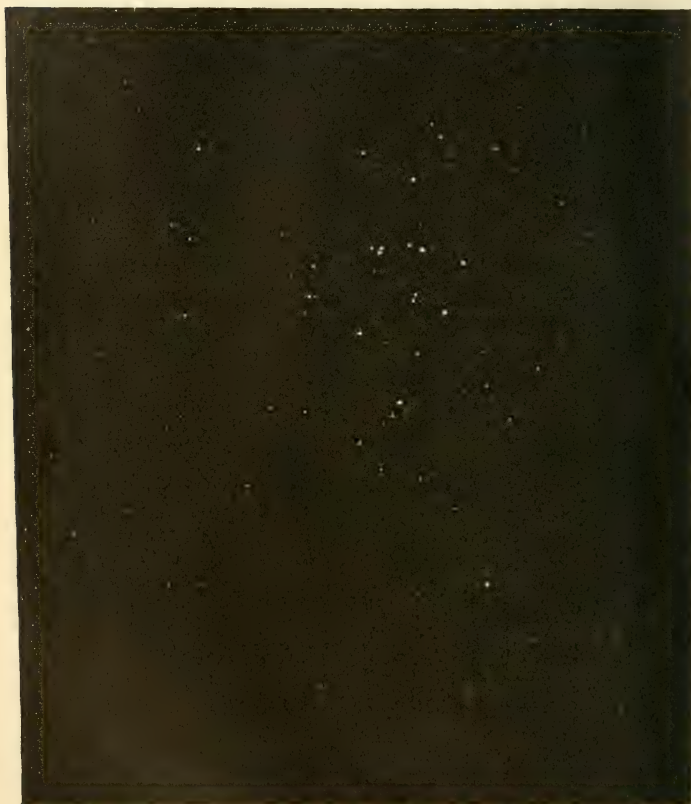


Fig. 173. Der Sternhaufen Praesepe nach einer vatikanischen Photographie. Belichtungsdauer 2 h. Maßstab: 1 mm = 1′ an der Sphäre.

ist mitphotographiert; 2. die hellen Sterne haben viel größere Scheiben eingebrannt, und es sind mehr schwächere Sterne bemerkbar. Obgleich das Brennpunktsbild eines Fixsternes fast ausdehnungslos ist, wächst es doch bei längerer Belichtung zu einem Kreise aus, indem sich die chemische Wir=



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 511.

Fig. 174. Kugelförmiger Sternhaufen im Pegasus. (Gen. Cat. 4670.)
Nach einer vergrößerten vatikanischen Aufnahme. Belichtungsdauer 1 h.
Maßstab: 23 mm = 1′ an der Sphäre.

tung auf der Schicht ausbreitet. Dieser Punkt ist schon früher (S. 498) erwähnt worden; indem wir noch einmal darauf hinweisen, erläutern wir ihn durch Fig. 172. Das photographische Fernrohr wurde auf ein Gebiet des Himmels in der Gegend von $13^h\,31^m + 8^0\,48'$ gerichtet und mit dem führenden Uhrwerke verbunden; nachdem eine Zeitlang belichtet war, wurde der Apparat geschlossen und aus dem Uhrwerke für kurze Zeit ausgeschaltet; dann wurde wieder gedreht und belichtet, aber für einen andern Zeitraum als vorhin u. s. w. Das Ergebnis war die Auseinanderziehung eines jeden Sternes in eine Kette von größern und kleinern Scheiben, die sich längs des Parallelkreises und der danach mit großer Genauigkeit gerichteten Netzlinien hinzieht. — An Fig. 171 bemerkt man z. die Nebelmassen um Merope, Maja, Elektra und Alcyone. Von diesen Nebelflecken ist nur der um Merope auf optischem Wege (1859 von Tempel) entdeckt worden, alle andern später photographisch; gerade hier zeigt sich die Überlegenheit der Photographie am glänzendsten. — Wie die an sich wahrscheinliche Zusammengehörigkeit der hellern Plejadensterne durch ihre gemeinsame Eigenbewegung verbürgt wird, so ist es auch wahrscheinlich, daß die vier Nebel thatsächlich und nicht nur optisch mit den Sternen verbunden sind; das zweite wäre der seltsamste Zufall.

Der Verbindungslinie der Sterne γ und δ Cancri (Asellus borealis, asellus australis) etwas vorangehend zeigt sich dem guten unbewaffneten Auge ein blasses Wölkchen, ε Cancri, Praesēpe oder die Krippe genannt, das schon von kleinen Fernrohren in zahlreiche Sterne 7. Größe und darunter aufgelöst wird. Schur hat diesen schönen Sternhaufen neuerdings mit großer Genauigkeit vermessen. Fig. 173 stellt ihn nach einer römischen Photographie (2 Stunden Belichtung) dar.

Ziemlich genau halbwegs zwischen τ Persei und δ Cassiopeiae stehen kaum 1^0 Grad auseinander die reichen Sternhaufen h und (nachfolgend) χ Persei; auch sie sind dem freien Auge nur als Wölkchen sichtbar; aber schon ein kleines Fernrohr zeigt viele ziemlich helle Sterne darin.

Als Beispiel für ein teleskopisches Gebilde dieser Art geben wir in Fig. 174 den schönen kugelförmigen Sternhaufen im Pegasus, R A $22^h\,25^m,1$, Decl $+ 11^0\,44'$ (1900,0) gleichfalls nach einer römischen Photographie, die jedoch eine starke mikroskopische Vergrößerung der Originalaufnahme darstellt, so daß nun die Bogenminute gleich 23 mm geworden ist. Die im Originalbilde sehr kleinen Sternscheibchen sind natürlich mitvergrößert und damit auch ihre von dem Gefüge des niedergeschlagenen Silbers herrührenden Unregelmäßigkeiten. Der Sternhaufen zeigt eine sehr starke centrale Verdichtung und mag in Wahrheit aus Zehntausenden von Himmelskörpern bestehen.

Wie der innerste Teil dieses Sternhaufens auf der vergrößerten Photographie und auch bei der direkten Beobachtung mit großen Fernrohren als

weiße neblige Masse erscheint, so giebt es viele Sternhaufen von mehr oder weniger regelmäßiger Gestalt, die mit geringern optischen Mitteln als neblige Massen gesehen werden, sich aber bei Anwendung stärkerer Fernrohre in lauter Sternchen mehr oder weniger vollständig auflösen. Sehen wir nun in einem sehr starken Fernrohr ein nebliges Gebilde ungefähr ebenso, wie sich die bekanntern Sternhaufen in schwächern Instrumenten zeigen, so können wir zu der Vermutung gelangen, daß auch diese regelmäßigern



Fig. 175. Der große Spiralnebel in den Jagdhunden.

(elliptischen, kugeligen planetarischen) Nebel in Wahrheit Haufen von Sternen sind, die jedoch, vermutlich wegen zu großen Abstandes, so schwach leuchten und so eng gedrängt stehen, daß wir sie nicht zu trennen vermögen. Die Spektralanalyse hat das in Bezug auf viele dem Fernrohr unauflösbare Nebelflecken bewiesen; sie zeigen gleich dem aufgelösten Sternhaufen Fig. 174 das kontinuierliche Spektrum des von glühenden festen oder flüssigen Körpern ausgesandten Lichtes; so der Andromeda-Nebel. Dagegen giebt es einzelne

Nebelflecken, und zwar auch solche, die von zahlreichen Sternen blitzen, wo trotzdem ein Linienspektrum auf glühende Gase als Hauptbestandteil deutet. Soweit man diese Linien hat messen können, gehören sie einerseits dem Wasserstoff, andererseits einem uns noch unbekannten Elemente, mindestens einem hier nicht zu verwirklichenden Zustande der Materie an. Einzelne Nebelspektra zeigen sogar die hellen Linien auf schwach kontinuierlichem Grunde. Indessen sind die hellen Linien an sich so charakteristisch, daß mit ihrer Hilfe schon einzelne sternähnliche Pünktchen am Himmel als wirkliche Nebel haben gedeutet werden können[1]. Von dem Zustande des Stoffes in den weitausgedehnten Nebeln können wir uns keine Vorstellung machen; es ist anscheinend ein Glühen, dem die uns geläufige Vorbedingung der hohen Temperatur fehlt[2]. Man hat aber auch ausgesprochen, daß die wenigen Linien nur der Rest von einer viel größern Zahl, vielleicht gar von einem Kontinuum sein könnten; die Absorption verschlinge alles übrige Licht.

Von den einzigen[3] in unserer Gegend mit freiem Auge bequem sichtbaren eigentlichen Nebeln, denen bei ν Andromedae und bei ϑ Orionis[2] haben wir den erstern bereits in einer schönen Photographie (Fig. 152 S. 457) kennen gelernt. Die schon im Opernglase deutlich erkennbare elliptische Gestalt dieses unauflösbaren Nebels mit kontinuierlichem Spektrum wird am besten als verkürzt gesehene Kreisgestalt gedeutet. Gute Photographien, auch schon die der Fig. 152 zu Grunde liegende, lassen einen spiraligen Aufbau vermuten, wie ihn auch z. B. der schöne große Nebel in den Jagdhunden (RA $13^h 25^m,8$, Decl $+ 47^0 45'$, aequ. 1900,0) zeigt. Anscheinend sehen wir bei diesem Nebel, den Fig. 175 nach Zeichnungen an mächtigen Spiegelfernrohren darstellt, dasselbe oder ähnliches im Grundriß, was wir beim Andromeda-Nebel von der Seite zu sehen bekommen. — Im Jahre 1885 tauchte im Andromeda-Nebel ein neuer Stern 6. 7. Größe auf, der später schwächer wurde. Ähnliche Erscheinungen sind in Sternhaufen und Nebelflecken mehrfach beobachtet worden; sie legen Zeugnis ab für die wirklichen Veränderungen, welche in diesen Gebilden noch vor sich gehen. — Der Leser, welcher den Ausführungen des vorigen Kapitels mit Interesse gefolgt ist, wird bemerken, daß das von Easton vermutete spiralige Gefüge unseres eigenen Weltsystems an den Nebel in den Jagdhunden erinnert. Was die Natur des Lichtes angeht, so hat auch dieser Nebel ein zusammenhangendes Spektrum, dürfte daher aus unzähligen kleinen Sternen bestehen.

---

[1] Wir kommen im 36. Kapitel darauf zurück.

[2] Durch elektrische Wellen läßt sich übrigens, wie neuestens gezeigt worden ist, der Wasserstoff in Geißlerschen Röhren noch bei — 200° C zum Leuchten bringen.

[3] Heis sah außer den genannten noch fünf andere, wovon zwei auch einem mäßig guten Auge zur Not sichtbar sind.

Unter den Nebeln mit Linienspektrum ist einer der hellsten, merkwürdigsten und regelmäßigsten der Ringnebel in der Leier, etwa zwischen β und γ Lyrae gelegen (R A $18^h\ 49^m,8$, Decl $32^0\ 54'$, aequ. 1900,0). Fig. 176

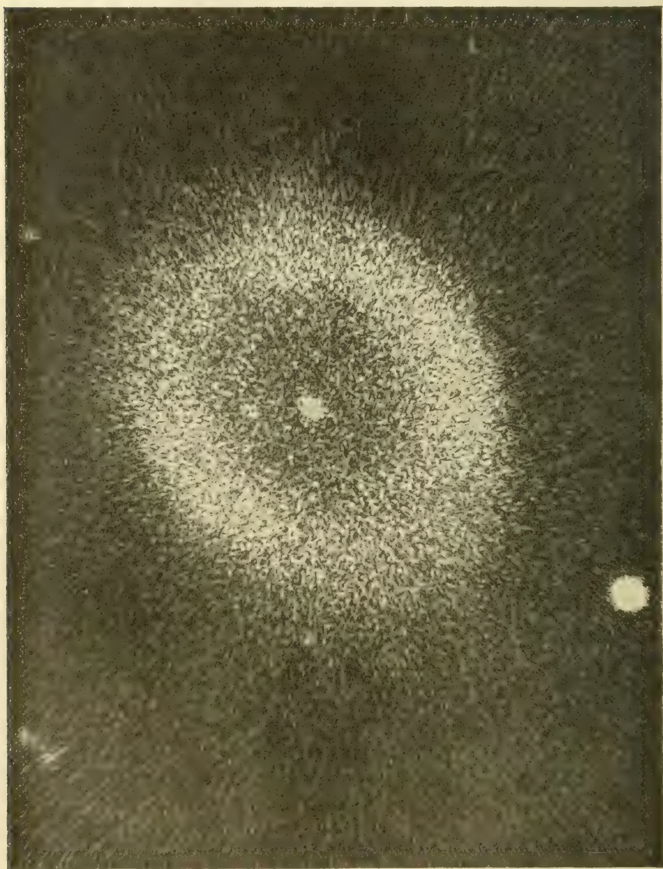
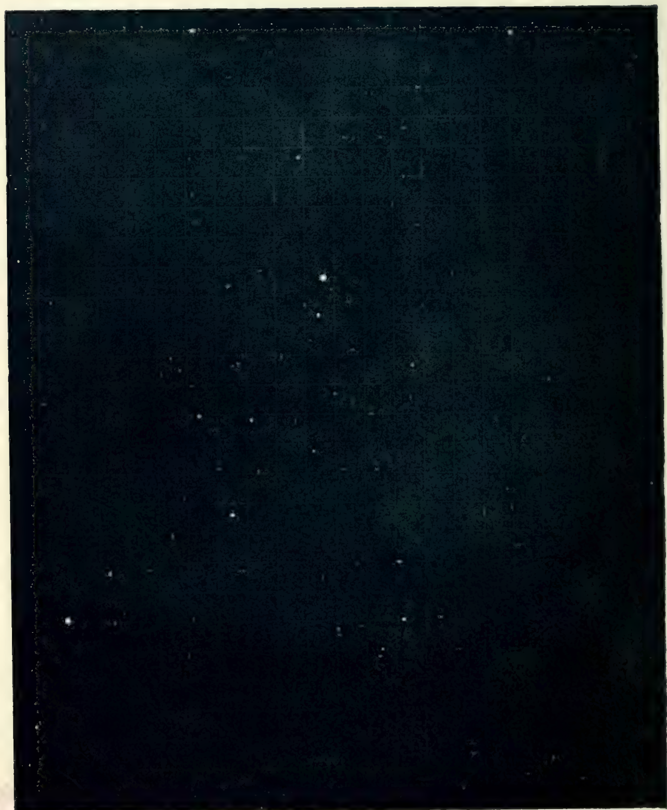


Fig. 176. Der Ringnebel in der Leier. Nach einer vatikanischen Photographie.

giebt die heliotypische Vergrößerung einer vatikanischen Photographie dieses Nebels wieder ($1' = 60$ mm). Er hat die Gestalt eines elliptischen Ringes von etwa $80''$ und $60''$ Achsenlänge. Daß die Ellipticität auch hier auf der Perspektive beruht, scheint besonders der erhöhte Glanz an den Enden



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 515.

Fig. 177. **Gebiet des Hantel-Nebels.** Nach vatikanischen Photographien. I.

Belichtung $1\frac{1}{3}^{h}$. Maßstab: 1 mm 1′ an der Sphäre.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 515.

Fig. 178. **Gebiet des Hantel-Nebels.** Nach vatikanischen Photographien. II.

Belichtung $4^{1}/_{2}{}^{h}$. Maßstab: 3,54 mm — 1′ an der Sphäre.

der kleinen und die größere Breite an denen der großen Achse anzudeuten. Die sternartige Mitte ist Gegenstand mancher Meinungsverschiedenheit gewesen. Das strahlige Gefüge des Nebels ist ebenso seltsam wie das Gasspektrum bei einem so regelmäßig umrissenen Gebilde.

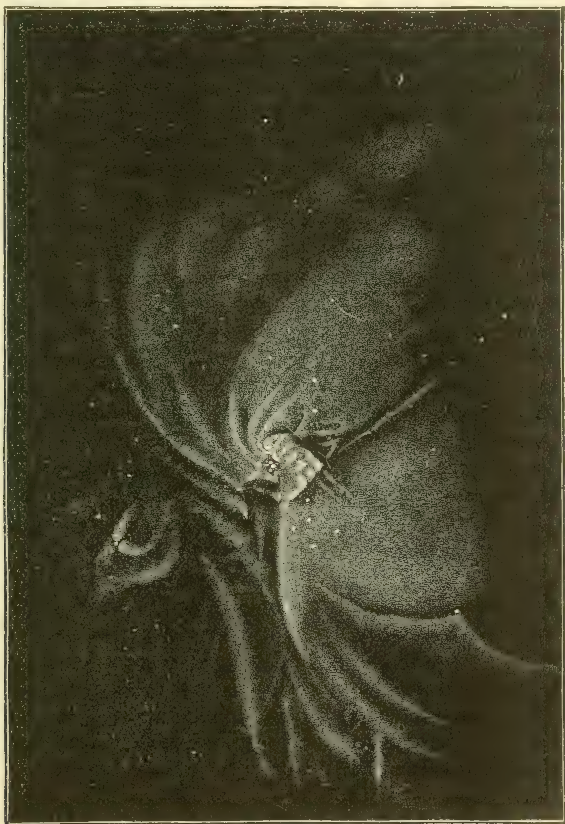


Fig. 179. Der große Orion-Nebel, beobachtet in einem starken Fernrohr.

Wir gehen zu dem Hantel-Nebel, Dumbbell-Nebula, über, der sich im Sternbilde Vulpecula, nahe der Grenze von Sagitta, befindet. Das Gebiet stellen Fig. 177 und 178 auf Grund römischer Photogramme dar, die in Belichtungszeiten von $1^1/_2$ und $4^1/_2{}^h$ gewonnen sind. Das erste

Bild zeigt wohl die Milchstraße, aber noch keine Spur des Nebels, der allerdings auf der Originalaufnahme erkennbar gewesen ist; das zweite (in größerem Maßstabe angefertigte) zeigt den Nebel in der eigentümlichen Gestalt, die schon W. Herschel veranlaßte, ihn nach dem bekannten Turngeräte zu benennen. Einige wollen in diesem kleinen Nebel (der Maßstab von Fig. 178 ist 1′ = 3,54 mm) eine ähnliche Bildung entdecken, wie bei dem Ringnebel der Lyra; in der That scheint der Nebel im Fuchs eine Ellipse mit Lichtverdichtung an den Enden der kleinen Achse zu sein; aber diese Verdichtung setzt sich auch nach innen fort. Der Dumbbell-Nebel hat ein Linienspektrum. (RA 19^h 55^m,3, Decl + 22° 26′, aequ. 1900,0.)

Von dem großen und hellen Nebel im Schwertgriffe des Orion, dem merkwürdigsten Gebilde dieser Art am gestirnten Himmel (RA 5^h 30^m,4, Decl — 5° 27′, aequ. 1900,0 [1]), geben wir in Fig. 179 bis 183 fünf verschiedene Darstellungen, die den Unterschied zwischen der unmittelbaren Beobachtung und der Aufnahme deutlich erkennen lassen. Fig. 179 zeigt mehr Einzelheiten als alle Photographien. Noch reicher an Einzelheiten ist Fig. 184, die den Nebel nach den Zeichnungen an dem berühmten Spiegelfernrohre des Earl of Rosse zu Parsonstown in Irland in den Jahren 1864 bis 1867 darstellt. Man darf die anscheinend dürftigen Photographien darum noch nicht für wertlos halten; denn sie geben über die Lichtverteilung bessern Aufschluß und sind unabhängig von der Subjektivität des Beobachters, die, wie wir schon bei der Milchstraße und den Planetenoberflächen sahen, viele Täuschungen herbeiführen kann. Nahe bei dem hellsten Gebiete der Fig. 179 und 184 sehen wir das Trapez, eine Gruppe von vier schon in mäßig guten Fernrohren sichtbaren Sternchen; etwas bessere Instrumente zeigen auch die zwei andern Sterne, und in den stärksten sind im ganzen deren zehn sichtbar. Fig. 180 giebt, gleichfalls nach dem Earl of Rosse, den hellsten Teil des Nebels, die Regio Huygeniana, wieder, mit sechs Sternen im Trapez. Hier und in Fig. 184 ist hell für dunkel zu lesen, während Fig. 179 dem wahren Anblicke nahe zu kommen sucht. Unter dem Trapeze sieht man den Nebel etwa in Gestalt eines Rachens geöffnet, und knapp 3 cm weiter links (Fig. 179) erscheint etwas tiefer ein Sternchen mit drei spiraligen Nebenästen. Es ist leicht, auf Fig. 182 dieses Sternchen und auch die Äste mit Hilfe des sehr deutlich sichtbaren Rachens wiederzufinden. Fig. 182 hat, wie die Photographien überhaupt, eine etwas andere Stellung als 179, sie hat den großen Maßstab 1′ = 3,33 mm. Daß das Gebiet zwischen dem Rachen und dem einzelnen Sterne nicht ganz vom Nebel frei ist, zeigt Fig. 183; sie hat, wie 182, den Maßstab 1′ = 1,75 mm, und man sieht

[1] Der für einen Nebel angegebene Ort bezieht sich gewöhnlich auf die Mitte des glänzendsten Gebietes.

auf 183 das isolierte Sternchen mit der Hauptmasse nahezu verschmolzen und den Tierrachen fast verwischt, während auf 181 jene beiden Hauptteile sehr deutlich getrennt und außerdem zum Teil die feinen Strahlen von Fig. 179 sichtbar sind. Der Vergleich von Fig. 181 und 183 mit Expositionszeiten von $^1/_2{}^h$ und 9^h ist besonders lehrreich[1]; als Ersatz für die

Süd.

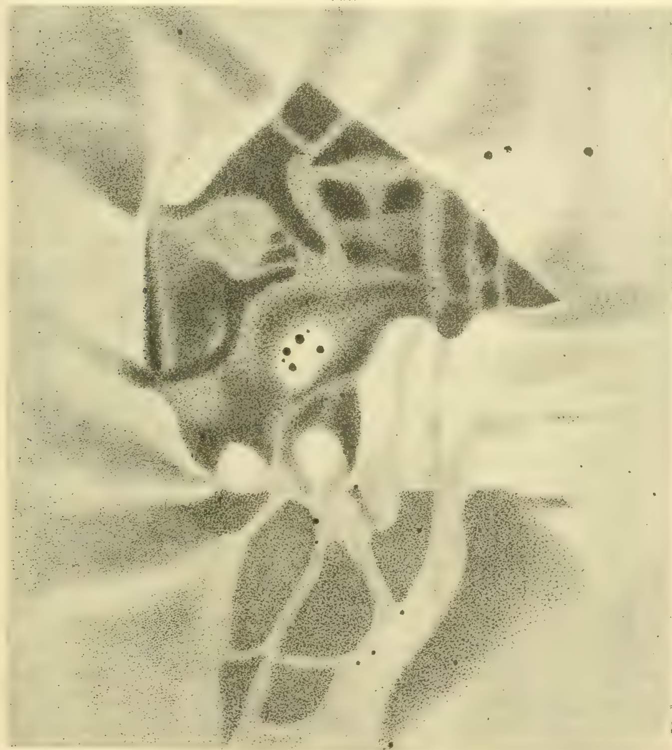


Fig. 180. Die Regio Huygeniana im Orion-Nebel. Nach den Beobachtungen des Earl of Rosse. Maßstab: 1 Bogenminute = 19 mm = $^3/_4$ Zoll englisch.

durch die starke Wirkung der hellern Nebelteile bei der langen Belichtung verloren gegangenen Einzelheiten erhielt man neue Kenntnisse über schwächere Gebiete, so über die Nebelmassen, welche die hellen Sterne ganz unten[2] auf

[1] Die Belichtung für Fig. 183 mußte auf zwei Abende verteilt werden.
[2] In Fig. 182 des großen Maßstabes wegen nicht enthalten.

den Bildern umkränzen. Auch über die Vergrößerung der Sternscheiben und die dabei eintretende Bedeckung schwächerer Sterne belehren diese Bilder. Das Trapez zeigen die Photographien nicht; es scheint gerade hier der Nebel am hellsten zu sein, während die Beobachter, durch die Kontrastwirkung der hellen Sterne geblendet, diesen Teil dunkel gemacht haben (Fig. 179).

Das Spektrum des großen Orion-Nebels deutet durch seine hellen Linien auf gasige Beschaffenheit, und merkwürdigerweise hat man in mehreren hellen Orionsternen, nicht etwa bloß im Trapez, dieselben Linien nachgewiesen, die den Nebel kennzeichnen. Es scheinen also hier, wie bei den Plejaden, die Nebelmassen irgendwie mit den Sternen zusammenzuhangen; und da wir es in beiden Fällen mit hellern Sternen zu thun haben, werden wir diese großen Nebel für nicht allzuweit entfernt ansehen dürfen; sie scheinen unserem von der Milchstraße umschlossenen Weltsystem anzugehören.

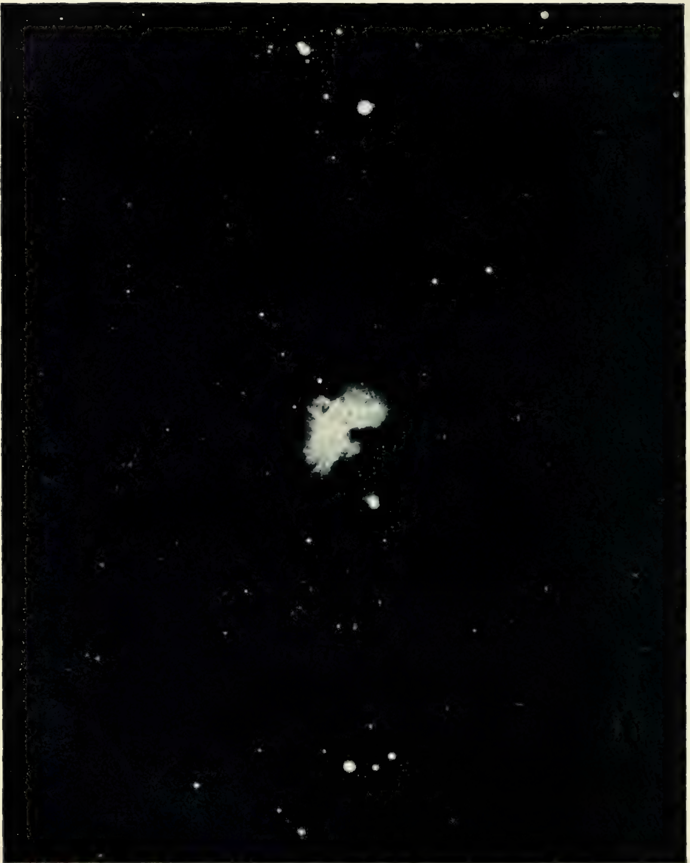
In seinem berühmten „General-Kataloge" verzeichnete J. Herschel auf Grund seiner eigenen und der von seinem Vater angestellten Beobachtungen nicht weniger als 5079 Sternhaufen und Nebelflecke; vor der Thätigkeit dieser unermüdlichen Forscher kannte man nur einige hundert. Es ist ein Beweis für die gewaltige raumdurchdringende Kraft der Spiegelfernrohre der beiden Herschel, daß diese Zahl später, auch durch die Photographie, nur um etwas mehr als 1000 vergrößert worden ist. Von diesen Gebilden, deren Zahl etwa der Zahl der dem freien Auge sichtbaren Sterne gleichkommt[1], sind vielleicht neun Zehntel als thatsächlich oder theoretisch auflösbare Sternhaufen zu bezeichnen; die übrigen, meistens unregelmäßig geformte oder planetarische, d. h. wie blasse Planetenscheiben erscheinende, thatsächlich wohl kugelförmige Nebel, dürften aus Gasen bestehen, da dieses die Spektralanalyse in vielen Fällen nachweisen konnte.

Parallaxen sind bei Sternhaufen und Nebelflecken noch nicht gemessen worden; auch über die im ganzen geringen Eigenbewegungen ist weniges bekannt. Die sehr großen, hellen und unregelmäßig gebauten Nebel, z. B. den im Orion, hat man, wie vorhin angedeutet, wohl als Bestandteile unseres Weltsystems anzusehen. Ein Gebilde dagegen wie der Andromeda-Nebel oder der Spiralnebel in den Jagdhunden ist jedenfalls ein sehr weit entferntes, mit unserer Milchstraßenwelt nicht zusammenhangendes Weltsystem. Solcher Weltsysteme mag es noch sehr viele geben, und es liegt kein Grund vor, die uns bisher vertraut gewordene Erscheinung, daß die gleichartigen kosmischen Gebilde durch Zwischenräume getrennt werden, die im Vergleich zu ihnen selbst ungemein groß sind, nicht zu verallgemeinern; mit andern Worten: von den fernsten auflösbaren oder unauflösbaren Nebelflecken trennen uns

---

[1] Und zwar auf demselben Gebiete. J. Herschel hat den Südhimmel am Kap durchmustert.

Süd.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 516.

Fig. 181. **Der große Orion-Nebel.** Nach vatikanischen Photographien. I.
Belichtung 30m. Maßstab: 1,75 mm   1′ an der Sphäre.

Süd.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 516.

Fig. 182. **Der große Orion-Nebel.** Nach vatikanischen Photographien. II.

Belichtung 1 h 30 m. Maßstab 3 1/3 mm = 1′ an der Sphäre.

Süd.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 516.

Fig. 183. **Der große Orion-Nebel.** Nach vatikanischen Photographien. III.
Belichtung 9h. Maßstab: 1,75 mm — 1′ an der Sphäre.

vielleicht Abstände, die hundert- oder tausendmal größer sind als der Durchmesser des Milchstraßenringes.

Eine von Schiller ausgesprochene Warnung[1] beherzigend, ergehen wir uns nicht in weitern Betrachtungen der gewaltigen Größe dieser Welten, vermeiden insbesondere das Hantieren mit meterlangen Zahlen, die niemanden etwas helfen. Es giebt wichtigere Wahrheiten, als daß von diesem Nebel das Licht erst in Jahrhunderten, von jenem in Jahrtausenden zu uns kommt. Und wer über das Weltgebäude länger nachdenkt, sieht sich immer wieder vor der oben aufgeworfenen Frage: Hat es ein Ende oder nicht? Sind die Sonnen zählbar, lassen sie sich von einem Geist, der sie alle überschaut, durch eine Zahl nennen, eine Zahl, die in gewöhnlicher Schrift einige Kilometer lang werden mag, aber eine richtige endliche Zahl? Oder ist die Zahl der Sterne thatsächlich unendlich, weil wir uns keine Grenze des Raumes erdenken können? Man kann das leicht aussprechen: es ist überall Raum da, also fehlt jeder Grund zur Beschränkung der Sternzahl. Man kann auch mit Kant die Frage in eine Antinomie auflösen, d. h. auf Erkenntnis der Wahrheit verzichten. Aber die Bedenken, welche die Philosophie und selbst auch die Physik[2] gegen ein unendliches Weltall haben, sind nicht minder groß als die gegen ein endliches All im unendlichen Raume sprechenden[3].

Giebt es, um mit Schopenhauer zu reden, nur die beiden Auswege: uns die Welt unendlich groß vorzustellen oder unendlich klein, d. h. in einem unendlich größern Raume verschwindend?

Die von Helmholtz, Riemann, Zöllner und andern Naturforschern vertretene Auffassung, daß der Raum gekrümmt sei und in sich selbst zurückkehre, kann unseres Erachtens die Schwierigkeit lösen oder doch eine Lösbarkeit für höher organisierte Geister vermuten lassen. Man denke sich, daß wir Menschen nur nach zwei Dimensionen ausgedehnt wären, nur in diesen Dimensionen etwas wahrnehmen könnten und uns auf einer großen Kugelfläche befänden, auf der wir uns nach allen Richtungen bewegen könnten. Von dem Raume innerhalb und außerhalb der Kugel haben wir dann keine Vorstellung; wir werden unsere Kugelfläche für das Weltall

[1] „Schwatzet mir nicht so viel von Nebelflecken und Sonnen!
Ist die Natur nur groß, weil sie zu zählen euch giebt?
Euer Gegenstand ist der erhabenste freilich im Raume,
Aber, Freunde, im Raum wohnt das Erhabene nicht."

[2] Das Himmelsgewölbe müßte uns überall hell erscheinen, ohne dunkle Stellen, wenn der unendliche Raum mit Sternen besetzt wäre. Man hat das mit Rücksicht auf die „Extinction" des Lichtes und auf die dunkeln Meteorschwärme leugnen wollen, kommt dann aber auf andere Schwierigkeiten, da für die Lichtwirkungen andere Effekte eintreten.

[3] Hier hat man mit der Energiezerstreuung zu rechnen, wobei sich aber auch noch die Frage erhebt, ob man denn den Äther weiter gehen lassen darf als die Materie.

halten, auch für unbegrenzt, wie es ja für uns ist, werden aber vielleicht durch Beobachtungen zu dem Schlusse kommen, daß sie nicht unendlich, vielmehr als Vielfaches der Größe unseres eigenen, zweidimensionalen und sphärisch gekrümmten Körpers darstellbar ist. Nun wäre es möglich, daß unsere nach drei Dimensionen ausgedehnte Welt auch nur ein geschlossenes endliches Gebilde in einem Raume höherer Ordnung, etwa in einem vierdimensionalen Raume, wäre. Dann können wir auch ihre Größe durch eine endliche Zahl aussprechen.

Der mit dem Grenzgebiete der Mathematik und der Philosophie vertraute Leser weiß, daß diese Erwägungen mit den über das sogen. Parallelenaxiom der Geometrie anstellbaren enge zusammenhangen. Man hätte so einen Ausweg aus Kants und Schopenhauers Dilemma. Allerdings läßt sich einwenden: Was ist denn in dem vierdimensionalen Raume? Antwort: Er braucht gar nicht zu existieren, und am wenigsten braucht man den Unfug zu glauben, den gewisse Leute mit diesem logischen Begriffe getrieben haben, um durch „Materialisationen" der Geister den Geist endgültig zu materialisieren, indem sie ihn den Bedingungen eines Raumes überhaupt unterwarfen. Die vierte Dimension ist für uns ein Grenzbegriff, der uns die Endlichkeit der Welt rettet und uns doch vor der Zumutung bewahrt, uns das All irgendwo mit Brettern zugenagelt vorzustellen, jenes All, dem auch in seinen glänzendsten Erscheinungen die Endlichkeit und Bedingtheit an der Stirn geschrieben steht.

Zudem — was hat der Materialist von der strengsten Observanz, dem außer den Atomen und dem Raume nichts bekannt ist, was hat er mehr als der Anhänger der Krümmungstheorie? Man zerlege das unendliche All in lauter kubische Felder von sehr bedeutender Ausdehnung im Vergleiche mit den Dimensionen etwa des Sonnensystems. Ich behaupte: wenn nun das All wirklich unendlich ist, sind verschiedene Gestaltungen in diesen Feldern nur in beschränkter Zahl möglich. Man kann ja den Raum ins unendliche geteilt denken; wir wollen aber etwa annehmen, daß zwei Stellungen einer Molekel, die sich in Bezug auf die Abstände von den Würfelkanten nur um ein Millimeter oder eine Atomgröße oder eine noch kleinere angebbare Größe unterscheiden, als gleich gerechnet werden sollen. Dann sieht man sofort, daß die Anzahl der möglichen Erfüllungsarten der Würfel endlich, wenn auch über alle Vorstellung groß ist. Ist also die Anzahl der Würfel selbst unendlich, kann sie beliebig vermehrt werden, so wird man für jede beliebige Gestalt, etwa für den Andromeda-Nebel nach seinem ganzen innern Aufbau, unzählig vielen Wiederholungen begegnen, mag man auch nur in gerader Linie beliebig weit fortschreiten.

Es ist offenbar gleichgültig, ob man im Sinne der Krümmungstheorie beim geraden Fortschreiten immer wieder denselben Andromeda-Nebel kreuzt,

Süd.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 516.

Fig. 181. **Der große Orion-Nebel.** Nach vatikanischen Photographien. I.
Belichtung 30m. Maßstab: 1,75 mm = 1′ an der Sphäre.

Süd.

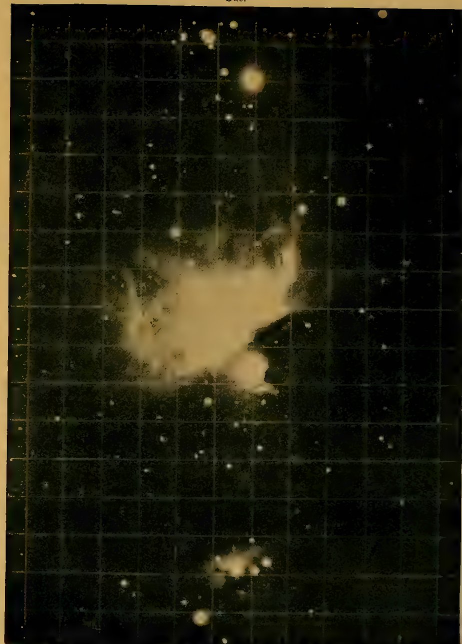


Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 516.

Fig. 182. **Der große Orion-Nebel.** Nach vatikanischen Photographien. II.

Belichtung 1 h 30 m. Maßstab $3^1/_3$ mm = 1′ an der Sphäre.

Süd.



Zu Plaßmann, Himmelskunde S. 516.

Fig. 183. **Der große Orion-Nebel.** Nach vatikanischen Photographien. III.

Belichtung 9 h. Maßstab: 1,75 mm = 1′ an der Sphäre.

oder im Sinne der Unendlichkeitstheorie stets neue Andromeda-Nebel, die sich von dem ersten so wenig unterscheiden, wie man will. Und nun bedenke man, daß wir nicht gehindert sind, die Kuben noch viel größer zu machen, so daß sie alle jetzt bekannten Nebel in sich einschließen, und die Abweichungen noch immer kleiner; die unendliche Wiederholung desselben Spieles läßt sich nicht vermeiden.

Eines wird uns aber aus diesen Betrachtungen klar werden: daß die Materie nicht das Absolute sein kann, daß sie über sich hinausweist auf ein anderes Etwas, das dem Princip der Individuation nicht unterworfen, das in Wahrheit unendlich ist dem Raume und der Zeit nach, indem Raum und Zeit nur die Formen sind, die dieses Wesen der Materie und überhaupt den endlichen Dingen vorschreibt.

Fünfunddreißigstes Kapitel.

Doppelsterne. — Dreifache und mehrfache Sterne. — Veränderliche Eigenbewegungen. — Veränderliche Sterne der Typen Algol und β Lyrae.

Die Erde ist nicht der Mittelpunkt unseres Weltsystems, das hat uns Coppernicus gelehrt. Auch die Sonne ist es nicht; denn sie ist ein Fixstern wie viele andere, größer als dieser, aber kleiner als jener, in rascher Bewegung begriffen wie die andern, anscheinend zu einer engern Gruppe gehörig (Kap. 34) wie viele andere; auch ihr Lichtspektrum findet zahlreiche Analoga in der Fixsternwelt. Wird ihr großer Hofstaat von Planeten, Trabanten und Kometen, der einzige Vorzug, den die Sonne noch zu haben scheint, als solcher zu retten sein? Oder giebt es auch da Fixsterne, die reicher ausgestattet sind als sie?

Wenn es Körper giebt, die sich um die Fixsterne bewegen, so sind diese Körper entweder sichtbar oder unsichtbar. Im ersten Falle werden wir sie unter günstigen Umständen neben ihren Centralkörpern wahrnehmen können, nämlich dann, wenn das Verhältnis des auf die Himmelskugel projicierten Abstandes des Begleiters vom Hauptstern zur Größe der Gesichtslinie ein so großer Bruch ist, daß dessen Arcus-Wert durch gehörige Vergrößerung im Fernrohr auf einen die Trennung ermöglichenden Betrag gebracht werden kann. Geht das nicht, so bietet, wie sich später zeigen wird, das Dopplersche Prinzip eine Möglichkeit zur Feststellung der Thatsache, daß ein Begleitstern vorhanden ist. In dem zweiten Hauptfalle kann sich der Begleiter verraten einmal durch die Anziehung, die er auf den Hauptstern ausübt, dann durch Verfinsterungen, endlich auch wieder durch Spektralverschiebungen, wie sie Dopplers Prinzip deuten lehrt. Die Verfinsterung kann übrigens auch in dem ersten Hauptfalle eintreten. Denn es können zwei leuchtende Himmels-

körper so nahe zusammen stehen, daß das Fernrohr sie nicht zu trennen vermag. Bei der Bewegung kann der eine den andern zeitweilig mehr oder weniger bedecken, und dann kommt offenbar nur ein Bruchteil der vereinigten Lichtmenge zu uns.

Das bloße Zusammenstehen zweier Sterne, besonders solcher von sehr verschiedener Lichtstärke, beweist an sich noch nicht den physischen Zusammenhang. Es kann ja der eine Stern, vermutlich der schwächere, sehr weit hinter dem andern stehen. Schon Galilei hat betont, daß solche Sternpaare, man nennt sie heute optische Doppelsterne, zu einer Parallaxenbestimmung geeignet sind. Sehen wir nämlich zunächst von der Eigenbewegung der Sonne, des nahen Sternes A und des entferntern B ab, so wird infolge der Parallaxe A jährlich eine kleine Ellipse ziehen, B eine ähnliche, aber viel kleinere Ellipse; die Verschiebungen sind immer nach derselben Seite gerichtet, woraus sich ergiebt, daß scheinbar A um B eine Ellipse zieht, deren große Halbachse gleich der Differenz der Parallaxen, d. h. nahezu gleich der Parallaxe von A ist; das letzte vorzüglich dann, wenn B sehr schwach leuchtet, also für sehr weit entfernt gehalten werden muß. Ist nun diese Differenz gleich einem merklichen Bruchteile der Sekunde, so hat man Aussicht, auch die viel schwierigere direkte Parallaxenbestimmung von A durch Meridianbeobachtungen mit Glück durchzuführen.

Dieses Verfahren wird jedoch durch die Eigenbewegungen erschwert. Es bewegen sich die drei Körper A, B, ☉. Die Bewegung der ☉ spiegelt sich in der von uns beobachteten Bewegung von B nicht so stark wieder wie in der von A. Da zudem A und B an sich nichts miteinander zu thun haben, vollziehen sie wahrscheinlich lineare Eigenbewegungen von ungleicher Richtung und Geschwindigkeit; jedenfalls wird uns die Eigenbewegung von A besser sichtbar sein als die von B, und das Gesamtergebnis ist dieses, daß A und B überhaupt nicht lange zusammenstehen, sich vielmehr schon nach wenigen Jahren oder doch Jahrzehnten weiter getrennt zeigen werden.

Als W. Herschel eine große Anzahl von Sternpaaren wiederholt vermaß, gewann er die Überzeugung, daß die meisten nicht nur optisch, sondern physisch zusammengehören. Man vollzieht eine solche Beobachtung in der Art, daß man außer der Distanz der beiden Sterne voneinander, die sich bei wirklichen Doppelsternen erfahrungsgemäß immer unter 30″ hält, auch den Positionswinkel bestimmt. Das ist der Winkel der Verbindungslinie der beiden Sterne mit dem Deklinationskreise, von dem hellern Sterne aus gerechnet; der Winkel ist gleich 0°, wenn der Begleiter oder Akolyth[1] gerade nördlich vom Hauptsterne steht, gleich 90°, wenn er

[1] Das griechische Wort ist bekanntlich auch in die Liturgie übergegangen; es kommt von *ἀκόλουθος*, müßte also eigentlich Akoluth heißen. Vgl. das Wort Anakoluth.

diesem im Parallelkreise folgt, 180° bei südlicher Stellung, 270°, wenn er ihm im Parallel vorausgeht. Da man für die gegenseitige Stellung der beiden Sterne den geocentrischen Standpunkt mit dem heliocentrischen vertauschen kann, so kann man auch sagen, daß, wenn die Sterne wieder A und B heißen, der Winkel der Ebene ⊙AB mit einer parallel zur Erdachse durch ⊙A gelegten Ebene der Positionswinkel ist. Die Erdachsenlage oder auch die Lage einer durch die ⊙ zur Erdachse parallel gelegten Linie darf ja innerhalb längerer Zeiträume als beständig angesehen werden; zuletzt muß man freilich auf die Präcession Rücksicht nehmen.

Herschel beobachtete also, daß die meisten Sternpaare physisch zusammengehören, und weiter, daß der eine Stern um den andern läuft. Die Umlaufszeiten sind sehr verschieden; sie gehen von $11^a,4$ (ϰ Pegasi) bis zu 354^a (40 Eridani) bei etwa 50 als mehr oder weniger sicher anzusehenden Bahnbestimmungen. Von den sehr großen Umlaufszeiten sind natürlich nur Abschnitte wirklich beobachtet worden. Die meisten Sternpaare findet man unter den hellern Sternen, offenbar wegen der durchschnittlich größern Nähe. Durch die Bemühungen von W. und J. Herschel, W. und O. Struve, Burnham u. a. kennt man gegenwärtig weit über 10 000 Sternpaare, und etwa bei 800 ist durch wiederholte Beobachtungen die physische Zusammengehörigkeit außer Zweifel gestellt, während sie bei den meisten andern wahrscheinlich ist.

Die Bahnbestimmungen gründen sich natürlich auf Beobachtungen der Distanzen und Positionswinkel, wobei die Winkel, als die zuverlässigeren Größen, in erster Linie mitsprechen. Ferner stützt man sich auf die Gesetze von Kepler und Newton; nicht als ob man[1] aus den schwierigen Doppelsternbeobachtungen diese Gesetze, wenn sie nicht schon anderweitig bekannt wären, hätte ableiten können, sondern weil man sich für berechtigt hält, Newtons Gesetz auf das ganze Weltall zu übertragen, und hierbei keinem ernstlichen Widerspruche mit den Beobachtungen begegnet. Aus der Theorie der Planetenbewegung ist uns bekannt, daß wir etwa den Lauf der ♂ um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems ⊙♂ einfach als einen Lauf um die ⊙ betrachten dürfen, wenn wir nur die vereinigte Masse ⊙ + ♂ anstatt der Sonnenmasse in die Rechnung einführen. So läuft auch der Firstern-Akolyth B eigentlich um den Schwerpunkt des Systems AB, wir beobachten aber seinen Lauf um den als fest betrachteten Centralstern A.

Wie zu erwarten, stellen sich die Bahnebenen der Doppelsterne für uns in allen möglichen Verzerrungen dar, weil ihre Winkel mit den Gesichtslinien die verschiedensten Werte haben. Was wir also etwa bei den Monden und Ringen des ♄ im Laufe von 30 Jahren nach und nach zu sehen bekommen, zeigt sich uns hier gleichzeitig und in noch viel größerer Abwechs-

[1] Wie noch kürzlich Lehmann-Filhés mit Recht betont hat.

lung an verschiedenen Systemen. Dabei ist es zwar möglich, festzustellen, daß die Bahnebene mit der Gesichtslinie z. B. den Winkel von 45° macht; es bleibt aber zweifelhaft, ob nun etwa die nördliche Hälfte der Bahn zur ☉ hingewandt ist und die südliche von ihr abgewandt, oder umgekehrt. Die Erscheinungen sind offenbar in beiden Fällen dieselben. Bei den Trabanten von ♆ und ♅ liegt hier die Sache anders: das ganze System tritt während seines Umlaufes in so verschiedene Stellungen zur ☉ und ♁, daß die Frage bald entschieden werden kann.

Als Beispiel für eine nahezu senkrechte Lage der Doppelsternbahn zur Gesichtslinie nennen wir ζ Cancri mit einer Umlaufszeit von 59^a; hier beträgt der Winkel mit der Gesichtslinie 79°, während er z. B. bei 42 Comae auf 0° herabgeht[1]. Dieses Paar, mit einer Umlaufszeit von $25^a,7$, weist also gar keine Änderung des Positionswinkels auf; es ändert sich nur die Distanz, und alle 13^a bedeckt ein Stern den andern.

Kennt man die Parallaxe eines physischen Sternpaares etwa aus Meridianbeobachtungen des hellern Sternes, so kann man die vereinigte Masse des Paares berechnen, sobald die Bahnelemente bekannt sind. Denn die große Bahnhalbachse, die man sonst in Bogensekunden anzugeben gezwungen ist, kann man nun auf die Einheit des Sonnensystems umrechnen, und dann giebt das dritte Keplersche Gesetz einen Ausdruck für die Masse, wenn man in der Formel S. 226 die vereinigte Masse ☉ + Planet durch die Massensumme A + B der Sterne ersetzt. Hieraus folgt umgekehrt, daß, wenn uns die Masse eines Sternpaares von bekannter Umlaufszeit und in Sekunden gegebener Bahnhalbachse irgendwie bekannt wäre, wir auf die Parallaxe schließen könnten. Nun haben wir für diese Massensumme an sich keinen weitern Anhalt, als daß wir sie gleich der Sonnenmasse setzen dürfen und uns dabei jedenfalls nicht in der Größen-Ordnung irren. Ergiebt nun die Rechnung eine Parallaxe von erheblichem Betrage, so kann man hoffen, diese durch Meridianbeobachtungen wirklich zu bestimmen, womit man dann für die Masse thatsächlich die Rechnungsgrundlage bekommt.

Schon den ältern Beobachtern ist es aufgefallen, daß die Komponenten eines Sternpaares häufig verschieden gefärbt sind. So besteht ε_1 Lyrae aus einem grünlichen Stern 4.5. und einem bläulichen 6.7. Größe, während die Komponenten des benachbarten Sternpaares ε_2 Lyrae beide weiß und von der 5. Größe sind; von π Cephei ist der Hauptstern lebhaft gelb gefärbt und 5. Größe, der rote Akolyth 7.8. Größe. Und der gelbliche Polarstern

[1] Als Neigung der Bahn bezeichnen die Astronomen das Komplement dieses Winkels; die Neigung ist aber bei 42 Comae gleich 90°, bei ζ Cancri gleich 11°. Knoten und Abstand des Periastron vom Knoten werden ähnlich wie Knoten und Abstand des Perihels vom Knoten bei Planetenbahnen definiert, aber mit Beziehung auf den Deklinationskreis.

α Ursae min. (2. Größe) hat einen weißen Begleiter 9. Größe. Dagegen sind die nahezu gleich großen Komponenten von 61 Cygni (Größen 5.6 und 6) auch gleichmäßig gelb gefärbt. — Alle Farbenangaben bei Doppelsternen, zumal die von den ältern Beobachtern herrührenden, sind mit Vorsicht aufzunehmen. Die kupfernen Hohlspiegel der beiden Herschel haben anscheinend manchen Stern nach rot hin gefärbt, und die Objektivgläser der ältern Refraktoren mögen andererseits Grünfärbungen bewirkt haben. Durch Kontrastwirkung kann außerdem noch ein weißer Stern neben einem roten grün und neben einem blauen gelb aussehen. Trotzdem scheint die Farbenverschiedenheit in manchen Fällen wirklich zu bestehen; so bei β Cygni, wo der Hauptstern 3. Größe goldgelb, der Begleiter 5.6. Größe lasurblau ist und diese Farben durch die spektrale Beobachtung bestätigt werden [1].

Unter den etwa 800 Doppelsternen, bei denen relative Bewegungen mit Sicherheit erkannt worden sind, giebt es viele, die über den Begriff des Sternpaares hinausgehen; nämlich einige 70 dreifache Sterne, 12 vierfache, 2 fünffache und einen (mindestens) sechsfachen. Der sechsfache Stern ist ϑ Orionis, bekannt unter dem Namen des Trapezes (Fig. 180, S. 516). Unter den dreifachen ist ζ Cancri merkwürdig, wo die drei Komponenten nahezu gleich hell (5. oder 5.6. Größe) sind und bei einem der Sterne Unregelmäßigkeiten in der Bewegung zu Tage getreten sind, die auf einen vierten Körper schließen lassen. Gewöhnlich stufen sich die mehrfachen Sterne nach Größen und Entfernungen so ab, daß der hellste für den zweiten und dieser für den dritten als Centralkörper gelten kann.

Gruppen von Doppelsternen sind nicht selten. So zerfällt ε Lyrae für ein scharfes unbewaffnetes Auge [2] in die beiden Sterne ε_1 und ε_2 (oder 4 und 5 Fl), die im Fernrohr beide als eigentliche Doppelsterne erscheinen (siehe oben). So steht auch der veränderliche Stern S Monocerotis, der zwei schwache Begleiter hat, mit nicht weniger als vier andern Doppelsternen in einem grobzerstreuten Sternhaufen zusammen. Endlich sei noch ζ Ursae mai. erwähnt; er hat in dem weiten Abstande von 11′ das „Reiterlein“ g Ursae mai. neben sich, offenbar nur optisch, ist aber selbst ein Doppelstern, da er im Abstande von 14″ einen Begleiter 4. Größe mit veränderlichem Positionswinkel besitzt.

Beispiele wie S Monocerotis und ϑ Orionis legen die Vermutung nahe, daß in engen Sternhaufen und sternreichen Nebeln relative Bewegungen verhältnismäßig leicht in größerer Anzahl zu finden sein werden. Daher die neuerdings auf das Ausmessen der Sternhaufen verwandte Sorgfalt.

---

[1] Bei sehr engen Sternpaaren lassen sich die Spektra nicht immer trennen.

[2] Ein solches trennt auch δ_1 und δ_2 Lyrae, ω_1 und ω_2 Scorpii, α_1 und α_2 Capricorni; da bei allen diesen Paaren die Abstände mehrere Bogenminuten betragen, rechnet man sie nicht mehr zu den Doppelsternen.

Die Zahl der berechneten Doppelsternbahnen findet man sehr verschieden angegeben; der eine hält Umlaufszeiten, die über 200ᵃ hinausgehen, nicht mehr für sicher, der andere verzeichnet sogar noch solche von 1000 Jahren. Nach unten bezeichnen $\varkappa$ Pegasi und mit nur wenig größerer Umlaufszeit δ Equulei die Grenze. Es mag zahlreiche Sternpaare mit noch kleinern Umlaufszeiten geben; die Distanzen fallen dann aber, unter übrigens gleichen Umständen, nach dem dritten Keplerschen Gesetze so gering aus, daß an eine Trennung mit dem Fernrohr nicht mehr zu denken ist. Diese Trennung wird schon bei weiterem Abstand unmöglich werden, wenn der Hauptstern sehr viel heller als der Akolyth ist und ihn infolge des unvollkommenen Baues unserer Augen überstrahlt. Wenn jedoch in diesem Falle die Stellung des Hauptsternes durch zahlreiche Meridianbeobachtungen für viele Zeitpunkte genau feststeht, so ist es möglich, daß er seine Duplicität dennoch nicht verheimlichen kann. Denn da Hauptstern und Begleiter um einen gemeinsamen Schwerpunkt kreisen, so muß jener um den von Präcession, Nutation und Eigenbewegung bestimmten Ort in einer dem Umlaufe des Begleiters gleichkommenden Periode schwanken, und bei hinreichend nahen Sternen, die wegen ihrer Helligkeit auch noch oft beobachtet werden, kann man die Schwankungen thatsächlich wahrnehmen.

Der erste, der solche veränderliche Eigenbewegungen feststellte, war Bessel. Im Jahre 1844 wies er nach, daß die beiden Hundssterne Sirius und Procyon Eigenbewegungen ausführen, die sich nicht durch ein gleichförmiges Fortschreiten in gerader Linie erklären ließen, wohl aber durch die Verbindung eines solchen Fortschreitens mit einer Kreisbewegung. Er wagte zu behaupten, daß Sirius mit einem dunkeln Begleiter um den gemeinsamen Schwerpunkt kreise und daß von Procyon dasselbe gelte. Clark in Boston entdeckte 1862 den Siriusbegleiter mit einem selbstgefertigten Fernrohr von 47 cm Öffnung. Der Stern ist keineswegs dunkel, hat vielmehr die 9. Sterngröße und würde also, wenn er nicht den hellsten aller Fixsterne neben sich hätte, schon in kleinen Fernrohren sichtbar sein. Immerhin ist es merkwürdig, daß hier das Licht des Hauptsternes volle 16000mal so stark ist wie das des Begleiters, während die Massen, wie sich aus ihren Abständen vom gemeinsamen Schwerpunkt schließen läßt, im Verhältnisse 2 : 1 stehen. Da man hier auch die Parallaxe (S. 482) kennt, so konnte man (vgl. S. 524) schließen, daß der Begleiter etwa die einfache und der Hauptstern die doppelte Sonnenmasse besitzt. Die Umlaufszeit beträgt 49ᵃ; die Neigung und Excentricität verringerten in der jüngsten Zeit die Distanz derart, daß der Begleiter für mehrere Jahre verschwand. Im Herbste 1896 ist er wieder aufgefunden worden, und zwar unter Umständen, die das Dasein eines zweiten Begleiters als möglich, wenn auch nicht als plausibel erscheinen lassen. Fast gleichzeitig damit fand man auch, und zwar zum ersten Male, den

Procyonbegleiter auf. Damit wurde Bessels Behauptung auch für diesen Stern ein halbes Jahrhundert nach seinem Tode glänzend bestätigt. Diese Art der Auffindung von Sternbegleitern erinnert an die Entdeckung des Neptun, womit Bessels grundlegende Arbeit der Zeit nach nahe zusammenfällt. — Außer Sirius und Procyon bietet noch die eine Komponente von ζ Cancri ein Beispiel für die theoretische Auffindung eines Fixsternes, der allerdings die optische noch nicht gefolgt ist. Andere Beispiele sind zweifelhaft, am ersten scheint sich noch τ Virginis den beiden Hundssternen anreihen zu wollen.

* * *

Denken wir uns nunmehr ein Sternpaar, dessen gleiche oder nahezu gleiche Komponenten zusammengenommen gerade die Masse unserer Sonne besitzen und ihr auch in der Dichte gleichstehen. Der Durchmesser eines jeden Sternes ist dann im Verhältnisse $\sqrt[3]{2} = 1{,}26$ kleiner als der Durchmesser der ☉, also[1] etwa 110 000 myriom groß.

Kreisten diese Sterne A und B gerade in einem Jahre um den gemeinsamen Schwerpunkt, so wären ihre Centra genau um die mittlere Bahnhalbachse der Erde, etwa 15 000 000 myriom, voneinander entfernt. Verkleinern wir aber die Umlaufszeit im Verhältnisse 1 : 125, machen sie also gleich $2^d{,}92$, so müssen wir nach Keplers drittem Gesetze die Entfernung im Verhältnisse 1 : 25 verkleinern. Sie wird dann gleich 600 000 myriom, und da die Radien der beiden Sterne zusammen nur 110 000 myriom groß sind, stehen ihre Oberflächen nur 490 000 myriom auseinander. Zugleich sieht man, daß die Körper mit der fünffachen Geschwindigkeit der ♁ umeinander kreisen, also in der Sekunde 15 myriom zurücklegen[2].

Eine so enge Verbindung zwischen zwei Sternen müßte drei Folgen haben: 1. Occultationen des einen durch den andern lassen sich in der Außenwelt verhältnismäßig an vielen Punkten wahrnehmen, weil der Abstand der Körper voneinander mit ihren Durchmessern vergleichbar ist; 2. wo man der Bahnebene des Systems nur irgenwie nahe ist, lassen die großen Geschwindigkeiten die Auffindung durch das Dopplersche Prinzip zu; 3. es müssen sehr bedeutende gegenseitige Flutwirkungen auf den beiden Sternen zustande kommen, die auf die Dauer den Bestand des Systems in Frage stellen werden. Es sind gegen diese Behauptung Rechnungen ins Feld geführt worden, die die Stabilität der Systeme verbürgen sollen, unter Annahme einer sonnenähnlichen Konstitution. Aber man braucht kein Anhänger der Schmidtschen Sonnentheorie zu sein, um einzusehen, daß mindestens die Fortsetzungen des einen Fixsternes, die unserer Corona und gar unserem

[1] Vgl. S. 306.

[2] Nämlich der eine Körper, bezogen auf den festgedachten andern; auf den Schwerpunkt bezogen, nur $7^1/_2$ myriom.

Zodiakallichte entsprechen, den Fortsetzungen des andern Sternes bis zur Berührung und Durchdringung nahe kommen können [1].

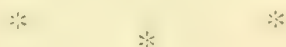
Die drei Schlußfolgerungen bleiben mehr oder weniger in Kraft, wenn wir auch eine etwas kleinere Massensumme und eine etwas größere Umlaufszeit annehmen als vorhin. Geht nun die Bahnebene eines solchen Systems AB nahezu durch die Gesichtslinie, vollzieht sich der Umlauf im Uhrzeigersinne für einen nördlichen Beobachter, und steht für diesen augenblicklich A links und B rechts, wobei AB zur Gesichtslinie senkrecht steht, so ist A in schnellem Abrücken, B bei gleicher Masse in ebenso schneller Annäherung begriffen. Die Spektrallinien von A sind also nach Rot verschoben, die von B nach Violett. Einen halben Umlauf später liegen die Verschiebungen umgekehrt. In den Konjunktionen dagegen, also wenn ∡ ⊙ BA oder ⊙ AB nahezu gleich null ist, stehen die Laufrichtungen auf der Gesichtslinie senkrecht, und es treten keine Linienverschiebungen auf. Haben nun die beiden Sterne dieselben Spektrallinien, so liefern sie in den Konjunktionen ein und dasselbe Spektrum; in den seitlichen Phasen dagegen zwei um den doppelten Verschiebungsbetrag auseinanderfallende; und da das Fernrohr die Sterne nicht trennen kann, ihr Spektrum also auch als ein einziges in dem Gesichtsfelde oder auf der Platte erscheint, so nehmen wir nun ein Spektrum mit lauter verdoppelten Linien wahr. Die etwaige gemeinsame Eigenbewegung von A und B im Visionsradius stört diesen Anblick nicht, da sie alle Linien um dieselben Beträge verschiebt.

Die erste Entdeckung eines solchen Sternsystems verdankt man Pickering in Cambridge (Mass. U. S. A.). Er nahm auf den dort gewonnenen Spektrogrammen von ζ Ursae mai. Linienverdoppelungen wahr, die sich nach einer Periode von etwas mehr als 52^d regelmäßig wiederholten. Hieraus schloß er auf die Duplicität dieses Sternes und auf eine Umlaufszeit von etwa 105^d; weitere Untersuchungen lehrten ihn sogar die Bahn dieses vielleicht für immer unauflösbar bleibenden Systems als stark excentrische Ellipse auffassen.

Der mittlere Deichselstern des großen Himmelswagens hat also 1. einen Begleiter, der ihm so nahe stehen mag wie der ☿ der ⊙ und sich nur durch Spektralverschiebungen zu erkennen giebt; der Winkelabstand ist mit Hundertstel Sekunden vielleicht noch zu hoch bewertet; 2. in 14″ Abstand einen schon in kleinern Fernrohren sichtbaren Akolythen 4. Größe, der ihn vielleicht erst in Jahrtausenden umläuft, wie man aus der geringen Änderung des Positionswinkels folgern kann; 3. in 11′ Abstand den anscheinend rein optischen Begleiter Alkor (g Ursae mai.), der schon mit freiem Auge sichtbar ist.

[1] Gegen jene Rechnungen selbst hat kürzlich noch Seeliger in Valentiners Handbuch der Astronomie (S. 695) gewichtige Bedenken ausgesprochen.

Dieselbe Spektralbeobachtung machte man in Cambridge an β Aurigae: doch wiederholen sich hier die Verdoppelungen nach $1^d,992$, lassen also auf die Periode von $3^d,984$ schließen, die unserem Rechnungsbeispiele schon näher kommt.



Im Jahre 1667 (oder 1669) bemerkte Montanari, daß der Stern Algol[1] oder β Persei, der gewöhnlich die 2. Sterngröße hat, manchmal nur die 4. zu haben schien. Ähnliche Wahrnehmungen blieben mehr als ein Jahrhundert lang vereinzelt, bis im Jahre 1782 Goodricke in York die Sache aufklärte. Nach seiner Angabe, die von den Beobachtungen eines weitern Jahrhunderts immer wieder bestätigt worden ist, unterliegt Algol einem regelmäßigen Lichtwechsel, der sich in einer Periode von 69^h, genauer (nach Schönfeld) von $2^d\ 20^h\ 48^m\ 53^s,7$ vollzieht. Während des größten Teiles dieser Periode verharrt er in derselben Größe, die man zu 2,2, d. h. zwei Zehntelgrößen schwächer als die eines Normalsternes 2. Größe bestimmt hat. Auf einmal wird er schwächer und fällt[2] innerhalb 5^h zur Größe 3,7. Dann beginnt sein Licht wieder zu wachsen, erreicht nach weitern 5^h wieder die Größe 2,2 und verharrt in dieser Helligkeit etwa 59^h, um das Spiel von neuem zu beginnen. Man kann diesen Lichtwechsel durch eine sogen. Lichtkurve wiedergeben, wobei die Abscisse die Zeit und die Ordinate die Helligkeit ist. Diese Kurve stellt Fig. 185 dar; ihr größtenteils horizontaler und geradliniger Verlauf zeigt die Konstanz des Lichtes während $^6/_7$ der Periode an, die Einbiegung bedeutet die Ab- und Zunahme.



Fig. 185. Lichtkurve des Sternes Algol im Perseus.

Es fragt sich, wie man solche Lichtänderungen beobachten soll. Wir gehen darauf etwas näher ein, weil sich hier wie auf einigen früher betretenen Gebieten[3] dem gebildeten Liebhaber der Astronomie die reichste Gelegenheit darbietet, sich durch selbständige Förderung des Wissens einen hohen und reinen Genuß zu verschaffen, ohne daß er auf den Gebrauch kostspieliger und umständlicher Hilfsmittel angewiesen wäre. Wenn ein Stern seine Lichtstärke mehr oder weniger regelmäßig ändert, so kann man diese Ände-

[1] Der arabische Name, vollständig Ras al Gol, bedeutet: Haupt des Ungeheuers, nämlich der Medusa.

[2] Für Ab- und Zunahme hat man nach unsern Wahrnehmungen mindestens je 5^h, wahrscheinlich etwas mehr, anzunehmen. Gewöhnlich giebt man $4^1/_2{}^h$ an; Goodrickes Angabe von $3^1/_2{}^h$ ist längst als viel zu klein erkannt worden.

[3] Zeichnungen des Zodiakallichtes und der Milchstraße (S. 344, 495) sowie Eintragung von Meteorbahnen (S. 465).

rungen auf zwei Arten verfolgen. Zunächst durch Photometer, Instrumente, welche nach irgend einem Princip das von einem leuchtenden Körper ausgehende Licht abschwächen und mit einem schwächern Lichte vergleichbar machen. Man ist hier immer auf die unveränderlichen Nachbarsterne eines Veränderlichen als Vergleichspunkte angewiesen; mit einer konstanten irdischen Lichtquelle kann man im allgemeinen das Sternenlicht kaum vergleichen, da es in der Atmosphäre sehr wechselvollen Einflüssen unterliegt. Von diesen Einflüssen kann man durchweg annehmen, daß sie zwei benachbarte Sterne in gleichem Verhältnisse schwächen.

Die andere Methode ist vorzüglich von Argelander ausgebildet worden, und ihr hoher Wert beruht auf dem durch zahlreiche Versuche hinreichend[1] bestätigten psychophysischen Grundgesetze von Fechner und Weber, wonach die Empfindungen unserer Sinne nicht den auf sie ausgeübten Reizen proportional sind, sondern deren Logarithmen, wenigstens solange die Reizung nicht sehr groß oder sehr klein ist. Bezeichnen wir z. B. einen Ton, der durch 128 Schwingungen hervorgerufen wird, mit t_1, dann dessen Quinte, die durch $128 \cdot \frac{3}{2} = 192$ Schwingungen erzeugt wird, mit t_2, die Quinte dieses Tones mit t_3 u. s. w., so haben wir die geometrische Reihe

128	192	288	432	648	972	1458	2187
t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8.

Diese Reihe deutet das Ohr als arithmetische, d. h. es sagt uns, daß das Intervall — man beachte dieses Wort — von t_1 nach t_2 gleich dem von t_2 nach t_3, t_3 nach t_4 u. s. w. ist, nämlich immer gleich einer Quinte. Daß die Schwingungszahlen von t_2 und t_1 um einen geringern Betrag verschieden sind als die von t_3 und t_2, davon lehrt die Hörempfindung nichts. Das von ihr behauptete konstante Intervall entspricht der gleichbleibenden logarithmischen Differenz. Denn offenbar bilden die Größen

$$\log t_1, \log t_2, \log t_3, \log t_4 \ldots$$

eine arithmetische Reihe mit der Differenz $\log \frac{3}{2} = 0{,}17609$.

Nun ist es ja wahr, daß den Tönen eigentlich die Farben entsprechen und der Schallintensität die Intensität des Lichtes. Indessen scheint uns die Natur beim Schall hauptsächlich für die Unterscheidung der Länge der Wellen, beim Licht für die Amplitudenunterschiede ausgerüstet zu haben; das bezeugt schon der verschiedene Bau der Netzhaut und des Labyrinthes wie auch die Thatsache, daß die Lichtempfindung kaum eine Oktave umfaßt,

[1] Hinreichend für die Praxis; die absolute Richtigkeit ist zu bezweifeln.

die Schallempfindung vielleicht zehn, daß andererseits zum Wahrnehmen des Unterschiedes nahezu gleich starker Schalleindrücke große Übung gehört, während ein so geringes Tonintervall wie der sogen. halbe Ton sofort aufgefaßt wird.

So zeigt sich denn die auffallende Thatsache, daß wir die Lichtintensitäten mindestens in ähnlicher Weise logarithmisch abschätzen wie die Tonhöhen. Darauf beruht es, daß ein Flächengebilde, dessen Teile das Licht in mannigfachster Abstufung zurückwerfen, etwa ein Kupferstich, bei den verschiedensten Beleuchtungen richtig erkannt wird, so im vollen Sonnenlicht und in dem nach photometrischer Bestimmung mindestens 300 000mal schwächern Lichte des Vollmondes. Die Leuchtkraft aller Flächenstücke ist in demselben Verhältnisse verkleinert worden, darum bleibt das Verhältnis zweier Teile zu einander dasselbe. Dieses Verhältnis aber ist es, das auf uns den Eindruck einer Abstufung macht, nicht die wirkliche Differenz der Lichtstärken, die im Mondlichte vieltausendmal kleiner ist als im Sonnenlichte.

Auch die Fixsterne bestätigen das. Betrachtet man bei gutem Himmel die Plejaden etwas nach dem Aufgange, wenn sie bequem sichtbar geworden sind, vielleicht um $20^h\ 40^m$ Sternzeit, verfolgt man sie bis zur Kulmination, die um $3^h\ 40^m$, und zwar im mittlern Deutschland ungefähr in 63^0 Höhe eintritt, betrachtet man sie weiter, bis sie um $10^h\ 40^m$ dem Untergange nahe sind: so findet man trotz der so verschiedenen Werte der atmosphärischen Absorption immer dasselbe Bild, d. h. dieselben Lichtunterschiede. Es werden also auch hier Lichtverhältnisse oder logarithmische Differenzen, nicht wahre Differenzen geschätzt. Die Beobachtung der Plejaden in den verschiedensten Fernrohren, bei wechselnder Stärke des Mondlichtes und der Dämmerung, wird stets denselben Erfolg haben.

Hierauf beruht denn auch die Brauchbarkeit der Sterngrößen unter den verschiedensten Umständen. Bilden die sogen. Größen von sechs Sternen die arithmetische Reihe

$$1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5,\ 6,$$

haben wir also Durchschnittssterne der üblichen Klassen, so zeigt die Photometrie, daß die wahren Lichtstärken etwa die geometrische Reihe

$$i,\ 0{,}4\ i,\ (0{,}4)^2\ i,\ (0{,}4)^3\ i,\ (0{,}4)^4\ i,\ (0{,}4)^5\ i$$

bilden, wenn i die Intensität des hellsten Gestirnes ist, daß unser Auge also die konstante logarithmische Differenz $\log 0{,}4 = 9{,}60206$ als Abfall um eine Größenklasse empfindet. Zwischen je zwei Glieder beider Reihen kann man noch neun weitere einschalten, und zwar so:

Größe

1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
i	$(0{,}4)^{0,1}\,i$	$(0{,}4)^{0,2}\,i$	$(0{,}4)^{0,3}\,i$	$(0{,}4)^{0,4}\,i$	$(0{,}4)^{0,5}\,i$	$(0{,}4)^{0,6}\,i$	$(0{,}4)^{0,7}\,i$	$(0{,}4)^{0,8}\,i$	$(0{,}4)^{0,9}\,i$	$(0{,}4)^{1,0}\,i$

Intensität

Fassen wir die Lichtempfindung als eine Größe auf, die beim fortwährenden Multiplizieren der Lichtstärke mit 0,4 oder einem andern echten Bruche immer um denselben Betrag vermindert wird, so muß sie zuletzt null werden, wenn die Intensität i mit einer gewissen Potenz von 0,4 multipliziert ist, d. h. die Empfindung wird nicht erst mit der Intensität selbst gleich null, sondern bereits bei einem bestimmten Werte der Intensität, den man als Schwellenwert bezeichnet; es ist, wenn i die Intensität eines Durchschnittssternes erster Größe unter gewöhnlichen Verhältnissen bezeichnet, $(0{,}4)^5$ i die Schwelle für mäßig gute Augen, da für solche ein Stern sechster Größe an der Grenze der Sichtbarkeit steht. Nennen wir seine Intensität eins, dann können wir in folgender Weise die Intensitäten und deren Logarithmen, die Empfindungen, wachsen lassen:

Größe . . .	6	5	4	3	2	1
Intensität . .	1	2,5	$(2{,}5)^2$	$(2{,}5)^3$	$(2{,}5)^4$	$(2{,}5)^5$
Logarithmus der Intensität	0;	log 2,5;	2 log 2,5;	3 log 2,5;	4 log 2,5;	5 log 2,5.

Für schärfere Augen liegt die Reizschwelle tiefer; das Fernrohr erniedrigt sie künstlich durch Vergrößerung der Intensität. Und nun wollen wir über die Beobachtung der veränderlichen Sterne Argelander reden lassen, der[1] in schlichten, aber noch heute lebendigen Worten seine einfache Methode angegeben hat, lange bevor das Fechnersche Gesetz ausgesprochen war. Argelander vergleicht einen Veränderlichen immer mit einem etwas hellern und einem etwas schwächern Nachbarsterne. „Erscheinen mir," sagt er, „beide Sterne entweder immer gleich hell, oder möchte ich bald den einen bald den andern ein wenig heller schätzen, so nenne ich sie gleich hell und bezeichne dies dadurch, daß ich ihre Zeichen unmittelbar nebeneinander setze, wobei es gleichgültig ist, welches Zeichen vorsteht; sind also die Sterne a und b verglichen, so schreibe ich entweder a b oder b a. Kommen mir auf den ersten Blick zwar beide Sterne gleich hell vor, erkenne ich aber bei aufmerksamerer Betrachtung und wiederholtem Übergange von a zu b und von b zu a entweder immer oder doch nur mit sehr seltenen Ausnahmen a für eben bemerkbar heller, so nenne ich a um eine Stufe heller und bezeichne dies durch a 1 b, ist hingegen b der hellere, durch b 1 a, so daß immer der hellere vor, der schwächere hinter der Zahl steht. Erscheint der eine Stern stets und unzweifelhaft heller als der andere, so wird dieser Unterschied für zwei Stufen angenommen und durch a 2 b bezeichnet, wenn a, hingegen durch b 2 a, wenn b der hellere ist. Eine auf den ersten Blick ins Auge fallende

[1] In seiner im Jahre 1843 erschienenen „Aufforderung an Freunde der Astronomie".

Verschiedenheit gilt für drei Stufen und wird durch a 3 b oder b 3 a bezeichnet. Endlich bedeutet a 4 b eine noch auffallendere Verschiedenheit zu Gunsten von a."

Geübte Beobachter geben auch noch Bruchteile der Stufe an, gewöhnlich halbe und Viertelstufen[1]. Ist der Helligkeitsunterschied des Veränderlichen und des Vergleichssternes sehr groß, so wird man sich genötigt sehen, mit wachsender Unbestimmtheit bis zu fünf oder sechs, ja bis zu zehn Stufen zu gehen. Etwas unbestimmt ist die Schätzung in jedem Falle. Denken wir uns zwei konstante Vergleichssterne, einen hellen a und einen schwachen c; der veränderliche b werde jeden Tag mit beiden verglichen. Wir schätzen etwa heute a 2 b 3 c, d. h. b ist zwei Stufen schwächer als a, aber drei Stufen heller als c. Wäre die Stufe ein konstantes Maß, so könnten wir etwa morgen beobachten a 1 b 4 c, d. h. der veränderliche ist um eine Stufe heller geworden; übermorgen a b 5 c oder b ebenso hell wie a und fünf Stufen heller als c; auch wohl einmal a $4^1/_2$ b $^1/_2$ c; immer aber müßte a 5 c herauskommen. Das findet nun aber keineswegs statt. Nachstehendes Täfelchen verzeichnet einige Fälle aus dem Jahre 1891, wo der Verfasser dieses Buches den veränderlichen Stern β Lyrae gleichzeitig an die konstanten[2] Sterne o Herculis und ζ Lyrae angeschlossen hat.

1891.	$\beta - o.$	$\beta - \zeta.$	$o - \zeta.$
Mai 4.	0	3	3,00
5.	0	3	3,00
10.	— 5,5	— 2	3,50
Sept. 5.	0	5,25	5,25
9.	1	5,5	4,50
10.	— 2	5	7,00
11.	1	5,75	4,75
23.	— 1	4	5,00
24.	1	5,5	4,50
29.	— 4	5	9,00
			49,50

Die letzte Spalte giebt die jeweilige Differenz $o - \zeta$, wie sie nicht direkt, sondern aus den Schätzungen von β abgeleitet ist; am 10. September war z. B. $o\,2\,\beta\,5\,\zeta$, oder $o - \beta = 2$; $\beta - \zeta = 5$; also $o - \zeta = 2 + 5 = 7$, während am 29. September $o - \zeta = 9$ herauskommt.

[1] In diesem Abschnitt folgt der Verfasser zum Teil wörtlich seinen eigenen Ausführungen in der Schrift: „Beobachtungen veränderlicher Sterne" (4. Teil. Warendorf 1895), die dem Anfänger im Beobachten und Berechnen zahlreiche Beispiele darbietet.

[2] Oder als konstant angesehenen; möglicherweise ist o selber schwach veränderlich.

Die zehn angezogenen Beobachtungen ergeben als Mittelwert $o - \zeta = 4{,}95$; eine größere Anzahl von Schätzungen aus verschiedenen Jahren hat 5,5 ergeben. Hat man die Differenzen aller benutzten Vergleichssterne hinreichend genau bestimmt, so kann man eine sogen. Vergleichsstern-Skala aufstellen, wobei man dem schwächsten Sterne die Stufe 0 giebt. Auf diese Skala kann man dann alle Beobachtungen beziehen. So ergeben des Verfassers Beobachtungen von β Lyrae, wobei außer den genannten Sternen noch μ Herculis und γ Lyrae herangezogen worden waren, die Skala

$$\zeta = 0{,}0;\ o = 5{,}5;\ \mu = 10{,}0;\ \gamma = 13{,}0.$$

Es war also z. B. durchschnittlich $\gamma - \mu = 3{,}0$. Um auch die Umrechnung der Beobachtungen auf die Skala zu zeigen, greifen wir 1891, September 10. heraus, wo die erste Schätzung $\beta = 5{,}5 - 2 = 3{,}5$, die zweite $\beta = 0 + 5 = 5$ ergiebt. Das Mittel $\beta = 4{,}2$ darf dann als leidlich gut verbürgter Wert von β zur Zeit der Beobachtung gelten[1].

Die Beobachtungen kann man bei hellen Veränderlichen, wie Algol, β Lyrae und δ Cephei ganz mit freiem Auge anstellen; doch ist es hier ratsam und bei schwächern Sternen geradezu nötig, das Licht durch ein kleines holländisches Fernrohr[2] etwas zu verstärken. Wenn die beiden Augen gleiche Brechungsverhältnisse haben, ein Fall, der nicht so allgemein ist, wie man denken mag, so nimmt man am besten ein binokulares Glas, also ein sogen. Opernglas; solche werden neuerdings auch in der Weise angefertigt, daß sich die beiden Läufe unabhängig voneinander verkürzen lassen, das System also auch für ungleiche (anisometropische) Augen brauchbar ist; nur ist dann der Preis höher, da diese Vorrichtung überhaupt nur an der bessern Ware angebracht wird; und so wird mancher mit ungleichen Augen versehene Beobachter zu dem einläufigen holländischen Fernrohr, dem Feldstecher, greifen. Es ist leicht, mit derselben Hand, die ihn dem einen Auge nähert, das andere zu bedecken und somit dessen Schließmuskulatur nicht ohne Not anzustrengen[3]. Störung durch anderweitiges Licht ist möglichst zu vermeiden, und so ist denn anzuraten, daß man im Dunkeln schreiben lernt. Lichtstörungen, die sich nicht vermeiden lassen, in erster Linie Mondschein, Dämmerung und Zodiakallicht, sollen wenigstens im Beobachtungsbuche vermerkt werden. Bei den Zeitangaben suche man die Minute (etwa nach M. E. Z.) zu verbürgen. — Beobachtungsbücher sollen als Wertpapiere bezeichnet und behandelt werden; willkürliche Eintragungen, z. B. auch nach-

[1] Weiteres über die Verwertung der Beobachtungen siehe in Pannekoeks lehrreichem Aufsatze in den Mitteilungen der Vereinigung von Freunden der Astronomie Bd. V, S. 65.

[2] Vgl. das 38. Kapitel.

[3] Für teleskopische Sterne muß man natürlich ein astronomisches Fernrohr, am besten einen sogen. Kometensucher, nehmen.

trägliche Verbesserungen des Niedergeschriebenen, sind Urkundenfälschungen. Hier muß gelten: Quod scripsi, scripsi.

Indem wir den Leser nochmals dringend bitten, mit dem Beobachten der Veränderlichen selbst einen Versuch zu machen und sich einem Freundeskreise[1] anzuschließen, der ihn mit geeigneten Ratschlägen versorgt und die von ihm eingelieferten Beobachtungen der richtigen Stelle zuführt, gehen wir zur Bedeutung der Stufenschätzungen für die Theorie über. Obschon die Stufe bei verschiedenen Beobachtern sehr verschieden ausfällt und z. B. bei manchen ziemlich genau der ersten Decimale der Größenklasse entspricht, bei andern einem erheblich engern Intervall, kann sie doch, wenn man von sehr hellem und sehr schwachem Lichte absieht, für einen und denselben Beobachter im Mittel als konstant gelten. Man kann sie also der logarithmischen Abnahme der Lichtstärke proportional setzen; und wenn man die Vergleichsstern-Skala mit Hilfe photometrischer Beobachtungen, die von anderer Seite angestellt sind, auf wirkliche Intensitäten umgerechnet hat, kann man sogar die beobachteten Stufenhöhen des Sternes in wirkliche Lichtstärken umrechnen.

Nun hatte man schon bald nach Feststellung des eigentümlichen Lichtwechsels, dem Algol unterliegt, den Gedanken ausgesprochen, dieser Stern werde in der sehr kurzen Periode von 69^h von einem kleinern dunkeln Trabanten umkreist; die Bahnebene gehe nahezu durch den Visionsradius, daher schwäche der Trabant in jeder untern Konjunktion für uns das Licht des Centralkörpers durch eine partielle Verfinsterung. Pickering wies sogar durch eine eingehende Rechnung nach, daß die Algolbeobachtungen im einzelnen diese Annahme rechtfertigen. Das Herabsinken von der Größe 2,2 auf 3,7, das ungefähr einer Intensitätsverminderung im Verhältnisse $(0,4)^{1,5}$ oder $^1/_4$ entspricht, gestattete einen Schluß auf das Größenverhältnis der beiden Himmelskörper.

Im Jahre 1889 wiesen Vogel und Scheiner in Potsdam spektrographisch nach, daß Algol regelmäßige Linienverschiebungen erleidet, und sie bewiesen damit, daß er aus einem hellen und einem dunkeln oder doch erheblich schwächern Sterne besteht, die um einen gemeinsamen Schwerpunkt kreisen. Die Sache liegt hier etwas anders als bei ζ Ursae mai. und β Aurigae; es sind nicht mehr beide Sterne hell, wir sehen daher in der That nur ein Spektrum, dessen Linien in einer Periode von 69^h hin und her wandern. In Fig. 186 bedeutet S den Schwerpunkt des Systems, die ausgezogenen Kreise stellen die beiden Sterne dar; den gestrichelten Kreis zieht der helle Stern um den Schwerpunkt, während der Satellit einen

[1] In den Ländern deutscher Zunge der Vereinigung von Freunden der Astronomie und kosmischen Physik; in England der British Astronomical Association u. s. w.

größern Kreis beschreibt. Die größten Linienverschiebungen nach rechts und links ergaben 42 km für die Geschwindigkeit des Hauptsternes in der Sekunde; aus den Daten, welche die langjährigen Beobachtungen des Lichtwechsels für die Verfinsterung ergeben hatten, schloß man auf die relative Größe der Durchmesser und ihr Verhältnis zur Distanz und unter der Annahme gleicher Dichtigkeit auch auf die Masse des Satelliten; sie ergab sich halb so groß wie die des Hauptsternes, und da man aus der bekannten Periode und der Geschwindigkeit von 42 km die Größe der vom Hauptstern durchmessenen Bahn bestimmen konnte, hatte man auch die doppelt so große Bahn des Satelliten um den Schwerpunkt, endlich auch die dreimal so große des Satelliten um den Hauptstern. Ja das dritte Keplersche Gesetz ergab nun sogar die Größe der Massen in Bezug auf die Sonnenmasse; man fand sie zu $^4/_9$ ⊙ und $^2/_9$ ⊙. Die Durchmesser sind nach Vogel gleich 171 000 und 134 000 myriom [1], die Centra stehen 519 000 myriom voneinander ab, die Oberflächen also etwa 400 000 myriom. Alle diese Zahlen sind mit der Unsicherheit behaftet, mit welcher die Linienverschiebungen und die Lichtänderungen gemessen werden. Merkwürdig ist es aber, daß die Parallaxe und Entfernung des Systems, betreffs deren wir auf Vermutungen [2] angewiesen sind, gar nichts mit den Zahlen zu thun hat.



Fig. 186.
Umlaufsbewegung des Algolsystems.

Die Periode der Verfinsterungen oder Lichtminima Algols ist nicht ganz konstant. Ihre Veränderlichkeit, die selbst wieder periodisch zu sein scheint, glaubte vor einigen Jahren Chandler durch die Annahme erklären zu sollen, daß außer dem hellen Hauptstern A und dem dunkeln Begleiter B noch ein zweiter dunkler Körper C vorhanden sei; der gemeinsame Schwerpunkt von A und B laufe in 140^a in einer Kreisbahn, deren Radius vom Lichtstrahl in 173^m zurückgelegt werde, um den gemeinsamen Schwerpunkt aller drei Körper [3]. In der That ließe sich durch einen solchen Umlauf die Verfrühung und Verspätung der Algolsminima erklären, die, an eine 140jährige Periode gebunden, den Betrag von $\pm$ 173^m nicht

[1] Hieraus ergiebt sich eine auffallend geringe Dichte im Vergleich zu der der Sonne. Indessen ist zu bedenken, daß die äußersten Gebiete der beiden Sterne, welche für die Bedeckung allein in Betracht kommen, viel lockerer sein können als der Kern, vermutlich infolge hoher Gezeiten.

[2] Für solche Vermutungen kann man offenbar von dem spektrographisch bestimmten Massenverhältnisse und dem photometrisch zu ermittelnden Lichtverhältnisse Algol : ⊙ ausgehen.

[3] Etwa wie der Schwerpunkt des Systems ♄ + ☾ um die ⊙ läuft, oder vielmehr um den Schwerpunkt des Systems ⊙ + ♄ + ☾.

überschreitet. Aus ältern Meridianbeobachtungen glaubte Chandler auch eine veränderliche Eigenbewegung des Algol erschließen zu können, wie sie Bessel bei Sirius und Procyon gefunden hat. Inzwischen hat diese Behauptung begründeten Widerspruch gefunden, und was die periodische Verlängerung und Verkürzung der Periode selbst angeht, so läßt sie sich nach Tisserand ohne Zuhilfenahme eines dritten Körpers C einfach dadurch erklären, daß man eine geringe Abplattung von A (nämlich 1 : 200) und eine geringe Excentricität der Bahnlinie des Systems AB (0,132) sowie natürlich eine Neigung der Bahnebene gegen die Äquatorebene von A voraussetzt. In diesem Falle wird das „Periastron“ von B in ähnlicher Weise umlaufen müssen wie infolge der Abplattung der ♁ das Perigäum der Mondbahn.

Ob die Lichtkurve Algols wirklich die ihr in Fig. 185 zugeschriebene einfache Gestalt besitzt, ist nach den zahlreichen Beobachtungen, die Pannekoek in Leiden und der Verfasser darüber angestellt haben, mindestens fraglich. Mehr oder weniger deutlich haben sich Einsenkungen im horizontal verlaufenden Teile ergeben, die vielleicht auf eine noch bestehende geringe Leuchtkraft von B deuten, der ja in seiner obern Konjunktion regelmäßig durch A bedeckt werden muß, vielleicht auch auf starke Flutbewegungen, die in einem solchen System die Absorption regelmäßig ändern müssen. Eine Entscheidung über die Wirklichkeit und Größe dieser Schwankungen des vollen Algollichtes ist allerdings bei der Schwierigkeit der Beobachtung nicht eben leicht zu treffen.

Der Lichtkurve Algols kommen die Kurven mehr oder weniger nahe, welche man für den Lichtwechsel einiger andern Sterne ermittelt hat, die man zusammen als die Veränderlichen vom Algoltypus bezeichnet, so λ Tauri, S Cancri, δ Librae, U Coronae, U Cephei, U Ophiuchi, R Canis mai.[1] Hier hat die Spektralaufnahme die Duplicität noch nicht bestätigen können, weil die Sterne dafür zu schwach sind. Doch ist der Analogieschluß, daß wir es hier mit ähnlichen Vorgängen wie beim Algol zu thun haben, gewiß berechtigt. Und die geringe Zahl von Veränderlichen des Algoltypus, die wir bis jetzt kennen, läßt auf eine weit größere Anzahl noch zu entdeckender schließen und auf eine noch viel größere Zahl von Sternpaaren, deren Periode einige Tage beträgt. Bedenkt man nämlich, daß zum Auffinden einer Duplicität durch die periodischen Verfinsterungen offenbar neben einer günstigen Bahnlage auch noch ein bedeutender relativer Durchmesser des Begleiters gehört und daß unter ungünstigen Verhältnissen, besonders bei schwachen Sternen, die Verfinsterungen unbeachtet bleiben, so

[1] Die Perioden sind der Reihe nach gleich $3^d\ 22^h\ 52^m$; $9^d\ 11^h\ 38^m$; $2^d\ 7^h\ 51^m$; $3^d\ 10^h\ 51^m$; $2^d\ 11^h\ 50^m$; $0^d\ 20^h\ 8^m$; $1^d\ 3^h\ 16^m$. — Neuerdings ist die Doppelnatur auch bei λ Tauri nahezu streng bewiesen worden.

muß man die Auffindung eines Veränderlichen vom Algoltypus eigentlich für einen glücklichen Zufall halten, der z. B. beim Algol selbst wohl nur der großen Helligkeit des Sternes zu danken ist; und dann erscheint die Zahl der bis jetzt aufgefundenen Sterne dieser Art überraschend groß. Die Potsdamer spektrographischen Untersuchungen haben uns sogar in α Virginis ein System mit einer Umlaufszeit von $4^d\ 0^h,3$ kennen gelehrt, wo Verschiebungen, aber keine Verdoppelungen der Linien vorkommen, wo der Begleiter also relativ sehr dunkel sein muß, sich aber nicht durch Lichtschwächungen verrät.

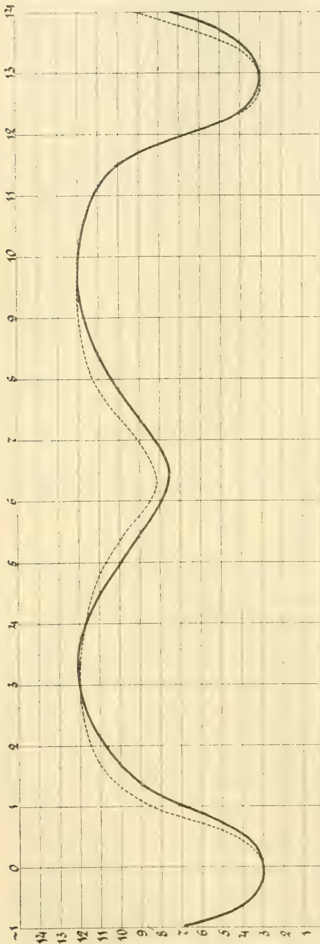
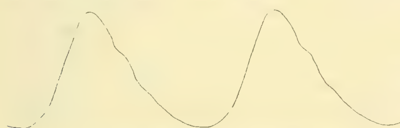


Fig. 187. Lichtkurven von β Lyrae. —— Gegenwärtige Kurve. ...... Argelandersche Kurve.

Der Fall, daß ein System aus zwei nahezu gleich hellen Sternen besteht, in deren Bahnebene die Gesichtslinie nahezu hineinfällt, ist mehrfach angedeutet worden. Hier nimmt man bei größern Distanzen und Umlaufszeiten, z. B. bei 42 Comae (S. 524), einen regelmäßigen Wechsel zwischen Duplicität und einfachem Anblicke wahr; gehen aber die Umlaufszeiten auf wenige Tage herab, so bleiben nur mehr die gegenseitigen Occultationen übrig. Ist nun bei gleicher Intensität von A und B die Bahn etwas excentrisch, so folgen sich zwei partielle Verfinsterungen von A durch B immer nach einer Periode, die dem vollen Umlaufe gleich ist; ebenso zwei Verfinsterungen von B durch A. Dagegen wird etwa auf die Verfinsterung von A durch B das umgekehrte Phänomen nicht genau nach einem halben Umlaufe folgen, sondern nach einer etwas längern oder kürzern, übrigens aber konstanten

Zwischenzeit. Eifrige Beobachter und Rechner haben auch für diesen Fall Beispiele gefunden in dem Lichtwechsel der schwachen Sterne Y Cygni und **Z Herculis.**

Außer den Algolsternen giebt es noch eine zweite Klasse von Veränderlichen, deren Lichtwechsel sich mit großer Regelmäßigkeit vollzieht. Unsere Fig. 187 giebt die Lichtkurve des merkwürdigen Sternes β Lyrae, nach dem man diesen Typus benannt hat, nach zwei verschiedenen, sofort zu besprechenden Darstellungen; Fig. 188 giebt die Kurve von δ Cephei, und zwar für zwei aufeinanderfolgende Perioden, um den Charakter der Asymmetrie besser zu zeigen. Aus zahlreichen Beobachtungen dieser Sterne folgt, daß sie ihr Licht beständig ändern, daß also kein Teil der Kurve horizontal verläuft. Die Periode der Änderungen beträgt für β Lyrae — wo sie übrigens selbst etwas veränderlich ist — im Mittel $12^d\,21^h\,48^m$, für δ Cephei — wo sie konstanter ist als bei irgend einem andern Stern — $5^d\,8^h\,47^m\,38^s{,}947$. Natürlich läßt sich weder die Größe der Periode noch die Art des Lichtwechsels aus den Beobachtungen einer einzigen vollständigen Periode nachweisen; dazu gehört eine Mittelbildung auf Grund eines umfangreichen Beobachtungsmaterials. Den Lichtverlauf von β Lyrae hat Argelander im Jahre 1844 aus seinen und anderweitigen Beobachtungen abgeleitet, wobei sich die hohe Brauchbarkeit der von ihm ersonnenen Methode der Stufenschätzung ergeben hat. In einer zweiten Abhandlung, wofür er außer seinen eigenen neuen Beobachtungen die von Heis angestellten verwertete, gab er die Kurve, deren stark verkleinertes Abbild in Fig. 187 als gestrichelte Linie auftritt. Die Kurve hat zwei Minima von ungleicher Tiefe, das Hauptminimum bei 0^d entspricht etwa der Sterngröße 4. 5. Nach etwas mehr als 3^d erreicht das rasch zunehmende Licht das erste Maximum, Sterngröße 3. 4, sinkt dann zum sekundären Minimum herab, hebt sich wieder zum zweiten Maximum und fällt dann rasch zum Hauptminimum. Die Periode von $12^d\,21^3/_4{}^h$ wird durch diese vier Punkte nach Argelander ziemlich genau in vier gleiche Teile zerlegt. Im Jahre 1893 unterzog E. Lindemann in Pulkowa die vom Verfasser dieses Buches angestellten Beobachtungen einer Berechnung, deren interessantes Ergebnis eine Kurve war, die eine sehr merkliche Änderung des Lichtverlaufes angiebt.


Fig. 188. Lichtkurve von δ Cephei.

Pannekoek in Leiden hat später die Sache noch schärfer untersucht auf Grund der erwähnten sowie der von ihm selbst, von Glasenapp und Menze angestellten Beobachtungen. Seine Kurve ist die in Fig. 187 ausgezogene Linie. Daß die beiden Maxima nicht minder als das sekundäre

Minimum nach rechts verschoben, also verspätet sind, ist eine höchst auffallende Thatsache; dazu kommt, daß nun mit ziemlicher Deutlichkeit das zweite Maximum etwas niedriger ausfällt als das erste. Es ist also die Symmetrie der Kurve im Laufe einiger Jahrzehnte verloren gegangen, und ihre Gestalt nähert sich jetzt der bei δ Cephei beobachteten[1].

Die von verschiedenen Spektroskopikern untersuchten Verschiebungen und Verdoppelungen der Linien von β Lyrae, worunter sich auch helle befinden, machen die Duplicität des Sternes äußerst wahrscheinlich; doch läßt sich eine Entscheidung noch nicht treffen. Daß hier voraussichtlich zwei helle Körper von ungleicher Größe vorliegen, daß die partielle Bedeckung des großen Sternes das Hauptminimum, die des kleinen das Nebenminimum hervorruft, daß die Rotationszeiten der Umlaufszeit gleich sein und die Fluterscheinungen auch in den seitlichen Phasen die Lichtstärke beständig ändern dürften, haben wir bereits vor vierzehn Jahren behauptet; die Hypothese ist neuestens von Myers in einer sehr eingehenden Arbeit wieder aufgegriffen, theoretisch untersucht und in Übereinstimmung mit Argelanders Kurve befunden worden. In der von Lindemann und Pannekoek ermittelten Verzerrung der Kurve, wozu anscheinend bereits die Beobachtungen von Schönfeld den Übergang bilden, hat man entweder den Effekt einer Drehung der Apsidenlinie (wie beim Algol nach Tisserand) oder auch das Ergebnis einer allmählich fortschreitenden Zerstörung des Systems zu suchen. Gegen die zweite Annahme scheint allerdings zu sprechen, daß die Kurve von δ Cephei trotz ihrer Asymmetrie seit Argelanders Zeiten sehr konstant geblieben ist. Übrigens ist δ Cephei von Belopolski in Pulkowa als wirklicher Doppelstern auf Grund der Linienverschiebungen erkannt worden[2]. Wie noch zu bemerken ist, haben sowohl δ Cephei als auch β Lyrae entferntere Begleiter, deren Umlaufszeiten nach vielen Jahrhunderten zählen dürften, da man noch keine Bewegung hat ermitteln können. Der Lichtkurve von δ Cephei ganz ähnlich ist die von η Aquilae mit einer Periode von $7^d\,4^h\,14^m\,4^s$; sie zeigt ein sekundäres Maximum, wo der absteigende Ast bei δ Cephei (Fig. 188) nur eine Beule hat, nimmt also zwischen dieser Kurve und der geänderten von β Lyrae eine Mittelstellung ein. Die Zwischenzeit vom Hauptminimum bis zum Hauptmaximum unterliegt, wie neuestens W. J. S. Lockyer aus vielen tausend Schätzungen verschiedener Beobachter nachgewiesen hat, ziemlich regelmäßigen periodischen Änderungen, und auch die sonst von ihm ermittelten Änderungen der Kurvengestalt geben der Vermutung Raum, daß hier die Apsidenlinie durch Störungen, sei es infolge

[1] Die Ordinaten der Fig. 187 sind Stufen, von einem willkürlichen Nullpunkte an gerechnet. Die Abscissen sind Tage, wie immer.

[2] Dabei ergab der Vergleich der Linien mit irdischen, daß uns das ganze System in jeder Sekunde um 18 km näher kommt.

einer Abplattung oder der Anziehung eines dritten Körpers, ziemlich rasch gedreht wird. Spektrographisch ist bei diesem Sterne noch nichts Bestimmtes ermittelt worden. Einige andere Sterne des Typus übergehen wir, da wir uns hier wie bei den Sternhaufen und Nebeln auf Beispiele beschränken müssen[1].

Bei der Erforschung der Veränderlichen von den Typen Algol und β Lyrae reichen sich die umständlichsten und die einfachsten Beobachtungsmethoden die Hand, nämlich Spektrographie und Stufenschätzung.

Daß es in Wahrheit keine zwei streng geschiedene Klassen von Doppelsternen giebt, wovon die der langperiodischen mit $11^1/_2{}^a$ bei Systemen wie κ Pegasi und δ Equulei (S. 526) abbricht, die der kurzperiodischen bei ζ Ursae mai. mit 105^d wieder beginnt, hat sich der Leser wohl schon selbst gesagt. Zweifellos sind zahlreiche Bindeglieder da; wir können sie aber nicht nachweisen, da bei diesen vermittelnden Systemen die Distanz zu klein ist für die direkte Trennung, aber noch zu groß, um Occultationen zuzulassen, die sich in umfangreichen stundenlangen Verfinsterungen aussprechen, oder Bewegungen, die für die spektrale Messung schnell genug sind. Auch eine relativ bedeutende Größe des Begleitsternes wird zum Nachweise seiner Existenz verlangt, da andernfalls die direkt oder spektral zu messenden Ungleichheiten in der Bewegung des Hauptsternes zu klein ausfallen, ebenso die etwaigen Lichtschwächungen, und da auch bei weitem Abstande die Auffindung eines kleinen und lichtschwachen Begleiters nur selten möglich sein wird, zumal wenn er nur im erborgten Lichte strahlt.

Die Thatsache, daß Umlaufsbewegungen am Himmel in großer Zahl stattfinden, rechtfertigt die Vermutung, daß manche Fixsterne auch Planeten von der Größe und Umlaufszeit der Erde haben. Aber an einen Nachweis solcher Planeten ist zur Zeit, wo selbst ein System wie ☉ ♃ für Beobachter im fernen Weltall untrennbar sein dürfte, nicht zu denken. Es mag also noch zahlreiche erdenähnliche, hier und da auch bevölkerte Planeten geben; für uns existieren sie nicht.

Sechsunddreißigstes Kapitel.

Spektralanalyse der Fixsterne. — Veränderliche Sterne des Mira-Typus. — Sterne mit schwachem Lichtwechsel. — Neue Sterne.

Die Fixsternnatur der Sonne tritt deutlich hervor in der ziemlich sicher erwiesenen nahen Übereinstimmung der Größen und fortschreitenden Be-

[1] Die kürzeste bekannte Periode hat ein Sternchen in dem schönen Sternhaufen des Centauren, ω_{19} Centauri, mit $0^d\,7^h\,11^m$. Daran reiht sich U Pegasi, der in $0^d\,8^h\,59^m\,41^s$ einen Lichtwechsel durchmacht wie β Lyrae, nämlich mit zwei Maximis von nahezu gleicher und zwei Minimis von sehr verschiedener Höhe.

wegungen wie auch in der Begleitung durch kleinere Körper, die man in den fernsten Räumen so gut findet wie bei unserer Tagesleuchte. Sehen wir von den als Corona und Zodiakallicht bezeichneten Gebilden ab, die wir ja schon bei der Sonne nur unter günstigen Umständen wahrnehmen, so bleiben noch drei an der Sonne beobachtete Erscheinungen übrig, die wir vermutungsweise auf die Fixsterne übertragen können: es ist der spektralanalytisch festgestellte Aufbau der leuchtenden Masse aus den uns wohl vertrauten Elementen der Chemie, es ist die Rotation um eine Achse und die periodische Fleckenbildung. Von diesen beiden letzten Vorgängen können wir bei den Fixsternen freilich nur durch ihre Wirkungen etwas zu erfahren hoffen, da das Fernrohr, viel zu schwach, um ein Sternpaar wie Algol oder δ Cephei aufzulösen, erst recht nicht der Oberfläche eines einzelnen Fixsternes eine meßbare Größe geben kann. In der That, bedenkt man, daß α Centauri, soviel man weiß, der nächste Fixstern, immer noch 10000mal so weit von uns absteht als ♆ in der Opposition, und daß bereits auf diesem Planeten fast nichts zu sehen ist, so fällt jede Möglichkeit weg, auf einem glänzenden Fixstern etwas zu entdecken. Die Vergrößerung einer Scheibe durch die Gläser des Fernrohres hat eben Grenzen, die nicht überschritten werden können.

Die Spektralanalyse ist in einer günstigern Lage; da sie nur die Art der von einem Körper ausgesandten Lichtstrahlen durch Farbenzerstreuung festzustellen hat, so genügt ihr eine hinreichende Intensität des Lichtes, und sie bedarf keiner Meßbarkeit der Ausgangsfläche. So ist sie denn, wie wir vorwegnehmend in den letzten Kapiteln mitteilten, im stande gewesen, die konstanten und periodischen Eigenbewegungen der Sterne im Visionsradius zu messen und hierdurch die mit Hilfe des Fernrohres angestellten Messungen der senkrecht zum Visionsradius verlaufenden Bewegungen in erfreulicher Weise zu ergänzen.

Sieht man von ältern Beobachtungen Fraunhofers ab, so ist P. Secchi der erste gewesen, der die Spektra einer großen Zahl von Sternen beobachtet und hierauf (1863) eine Einteilung dieser Himmelskörper gegründet hat. Secchis erster Spektraltypus umfaßt die weißen Sterne, wie α Canis mai., α Leonis, α Aquilae. Ihr kontinuierliches Spektrum wird hauptsächlich durch vier kräftige schwarze Linien gekennzeichnet, die man gegenwärtig H_α, H_β, H_γ, H_δ nennt; sie gehören dem Wasserstoff an und finden sich auch im Sonnenspektrum. Der Typus umfaßt nahezu die Hälfte aller Sterne. Zahlreiche Absorptionslinien im Violett und Ultraviolett sind bei den photographischen Aufnahmen der weißen Sterne hervorgetreten; zu ihrer Hervorrufung muß man längere Zeit belichten, wobei dann die Linien in Grün und Blau durch die übermäßige Einwirkung der hellen Teile wieder verschwinden. Die gelben Sterne bilden den zweiten

Typus; als Vertreter nennen wir Pollux und die Sonne. Die Ähnlichkeit der beiden Farbenbänder ist auffallend; sie haben zahlreiche von der Absorption durch metallische Dämpfe herrührende schwarze Linien, die man sich bei Pollux und ähnlich bei Capella sehr zart zu denken hat, während sie bei Arktur und Aldebaran breiter und kräftiger sind. Aldebaran leitet schon zum dritten Typus, dem der roten Sterne über, als dessen Vertreter der veränderlichen Stern α Herculis genannt sei. Es kennzeichnen diese Spektra, deren Zahl gegen die des zweiten Typus noch mehr abfällt als diese gegen die des ersten, zahlreiche Absorptionsstreifen, die nach der brechbareren Seite scharf begrenzt sind, nach Rot hin aber schwächer werden, so daß man sie mit Säulen vergleichen kann, die vom Rot her beleuchtet sind. Außer diesen breiten Banden zeigt aber das Spektroskop bei den Sternen des dritten Typus auch noch die zarten Linien des zweiten. Dagegen sind beim vierten Typus, der nur wenige blutrote Sternchen von schwacher Helligkeit umfaßt, die Absorptionsstreifen hauptsächlich nach Rot hin scharf begrenzt. Endlich brachte Secchi die wenigen Sterne, welche die Wasserstofflinien hell zeigen, wie β Lyrae und γ Cassiopeiae, in einer fünften Gruppe unter.

Pickering in Cambridge (U. S.) teilte die Sternspektra auf Grund einer umfassenden photographischen Durchmusterung, die nicht weniger als 10 498 Nummern ergab, in 16 Klassen, die er mit den Buchstaben A bis Q bezeichnete. Im ganzen entsprechen A bis D dem ersten Typus von Secchi, E bis L dem zweiten, M dem dritten[1] und N dem vierten; O entspricht dem fünften Typus, P umfaßt die gleichfalls helle Linien zeigenden planetarischen Nebel (S. 512) und Q die Spektra, welche anderweitig nicht untergebracht werden konnten.

Die heutzutage am meisten gebrauchte Einteilung ist die von H. C. Vogel in Potsdam[2]. Seine erste Klasse umfaßt die Sterne, wo die Metalllinien fehlen oder sehr schwach auftreten und der brechbare Teil des Farbenbandes durch seine Helligkeit auffällt, also die weißen (oder blauen[3]) Sterne. Sie hat drei Unterabteilungen: a) mit breiten und dunkeln Wasserstofflinien und

---

[1] Vermöge ihrer geringern photographischen Wirksamkeit können die roten Sterne auf den Platten nicht die spektralen Verschiedenheiten zeigen, die man bei den weißen und gelben bemerkt. Doch scheinen die Spektra bei diesen auch an und für sich mannigfaltiger zu sein. Bezüglich der geringen photographischen Wirksamkeit roter Strahlen vgl. noch Fig. 9, S. 19, wo α Orionis, ein Stern 1. Größe, weit schwächer erscheint als viele von der 3. und 4.

[2] Hier nach Wislicenus' Aufsatze in Valentiners Handbuch der Astronomie mitgeteilt.

[3] Für das unbefangene Auge sind z. B. Wega und Sirius zweifellos blau. Wie unsicher Farbenschätzungen am Himmel überhaupt sind, geht unter anderem aus dem S. 477 über die Meteorfarben Gesagten hervor.

sehr schwachen dunkeln Metalllinien; Beispiele: Sirius und Wega. b) Einzelne Metalllinien fehlen oder sind äußerst schwach; es fehlen die starken Wasserstofflinien der vorigen Klasse; Beispiele: β, γ, δ, ε Orionis. Die beiden Abteilungen decken sich mit Secchis erstem Typus, während die Spektra der Abteilung c) dem fünften Typus entsprechen, da in ihnen die Wasserstofflinien nebst der Heliumlinie D_3 (vgl. S. 329) hell sind. In der zweiten Klasse sind die Metalllinien sehr deutlich, während die brechbareren Teile des Farbenbandes matt erscheinen und in den minder brechbaren hier und da schwache Absorptionsbanden auftreten. Unterabteilungen: a) Metalllinien zahlreich und besonders im Gelb und Grün auffallend; Wasserstofflinien kräftig, obschon schwächer als bei Ia, manchmal aber schwach und dann, wie bei Capella, Arkturus, Aldebaran, durch schwache Banden im weniger brechbaren Teile vertreten, die eigentlich aus zahlreichen Linien bestehen. Wie man sieht, deckt sich diese Abteilung im ganzen mit Secchis zweitem Typus. b) Es treten einzelne helle Linien zu den dunkeln Metalllinien; Beispiel: die Nova T Coronae (vgl. unten S. 558). In der dritten Klasse sind die brechbareren Spektralgebiete auffallend schwach, so daß die Sterne rot erscheinen; zu den Metalllinien treten zahlreiche Absorptionsbanden in allen Gebieten. Auch hier werden zwei Abteilungen gebildet, wovon a) mit dem dritten und b) mit dem vierten Typus von Secchi so ziemlich identisch ist.

Das Verhalten zweier (oder mehrerer?) Magnesiumlinien in den Spektren der verschiedenen Typen hat dann weiter zu der Überzeugung geführt, daß die Sterne der I. Vogelschen Klasse (genauer der Abteilung Ia) Temperaturen besitzen, welche der des elektrischen Funkens, d. h. dem 15000sten Grade der Celsiusskala, nahe liegen. Bei den folgenden Klassen vermindert sich die Temperatur allmählich, und in IIIa ist die Temperatur des Bogenlichtes erreicht, die zwischen 3000 und 4000° liegt. Dem Mittel dieser Grenzwerte dürften die Sterne der Abteilung IIa nahekommen, zu denen auch unsere Sonne zählt (vgl. S. 311).

Es ist nach den Ergebnissen der mechanischen Wärmetheorie als sicher anzunehmen, daß ein glühender und selbstleuchtender Himmelskörper mit der Zeit immer kälter und dunkler werden muß. Je größer er ist, desto langsamer kühlt er sich ab, und es kann auch, wie wir früher (S. 311 ff.) sahen, die bei der Zusammenziehung geleistete Arbeit den Wärmeverlust in etwa ersetzen, zuletzt aber ist das Erlöschen unvermeidlich. Hand in Hand mit der Abkühlung geht eine Verfärbung nach der minder brechbaren Seite hin, da die kurzwelligen Strahlen am ersten erlöschen, wie man schon bei irdischen Körpern beobachten kann. Hieraus ergiebt sich, daß die Spektraleinteilungen von Secchi und Vogel auch eine genetische Bedeutung haben: die weißen Sterne sind relativ die jüngsten und die roten die ältesten. Sorgfältige Abzählungen der Spektra nach Pickerings Einteilung haben ergeben,

daß im Milchstraßengebiete die weißen Sterne und die mit hellen Spektrallinien noch etwas mehr überwiegen als im Gesamtmittel, vermutlich weil dort die Materie nicht nur relativ, sondern auch absolut dichter zusammengedrängt ist als anderwärts, also die Entstehung neuer Sterne begünstigt wird.

Die große Hitze eines Sternes der ersten Klasse dürfte die Möglichkeit der Fleckenbildung ausschließen, die dagegen, wie das Beispiel unserer Sonne zeigt, in der zweiten Klasse bereits vorliegt. Nun sind die Sterne der dritten Klasse noch kälter, und die Vermutung ist gerechtfertigt, daß hier allmählich Abkühlungsprodukte auftreten, die, wenn sie größere Oberflächenstücke bedecken, einen bedeutenden Unterschied in der Leuchtkraft der beiden Hemisphären des Sternes herbeiführen müssen. Ferner ist es nach den Lehren der Mechanik höchst wahrscheinlich, daß jeder im Raume frei schwebende Körper, der seine Entstehung dem Zusammenströmen von Materie verdankt, hierdurch eine Achsendrehung erhalten hat. Ein gar nicht rotierender Körper ist, gleich einem Kometen mit streng parabolischer Bahn, nur als vorübergehende Ausnahme zu betrachten. Indem uns nun durch die Rotation eines erkaltenden Himmelskörpers nach und nach verschieden helle Oberflächenteile zugewandt werden, muß ein solcher Stern zu den veränderlichen gehören. In naher Übereinstimmung damit steht die Thatsache, daß die meisten veränderlichen Sterne rot sind und andererseits die lebhafte Rotfärbung eines Sternes meistens gegründeten Anlaß bietet, ihn für mehr oder weniger veränderlich zu halten.

* * *

Am 12. August 1596 bemerkte der ostfriesische Dorfgeistliche David Fabricius[1] am Halse des Sternbildes Cetus, rechts von der Gruppe der Sterne $\alpha \gamma \delta$, einen grellroten Stern zweiter Größe, und zwar trotz des nahen und hellen Mondes. Er verfolgte das Gestirn in den nächsten Wochen und benutzte es auch als Vergleichsstern zur Bestimmung der Position des ♃; es wurde zusehends schwächer und verschwand im Oktober desselben Jahres. Das Fernrohr war damals noch nicht erfunden. In einem Briefe an Kepler äußerte er seine Verwunderung darüber, doch ruhte die Sache seitdem in unaufgeklärter Weise[2] bis zum 15. Februar 1609, wo Fabricius den Stern deutlich wiedersah. Er konnte ihn bis in

[1] Prediger in Osteel, Vater des Entdeckers der Sonnenflecken. Vgl. S. 333.

[2] Vielleicht, weil die folgenden Maxima des Lichtes in die ungünstigen Sommer- und Frühlingsmonate fielen; später, bei günstigerer Lage, mögen die Maxima an sich schwach gewesen sein. In der Zwischenzeit hat übrigens Bayer den Stern beobachtet, aber nicht als veränderlich erkannt; denn die „Uranometrie“ (vgl. S. 36) enthält ihn. — Die Entdeckung wurde 1596, Aug. 12. 15^h gemacht, nach üblicher Zählweise also am Morgen des 13.

die Nähe des heliakischen Unterganges verfolgen und sah ihn zuletzt am 4. März. Als die Konstellation im August wieder zu etwas bequemerer Zeit aufzugehen begann, suchte Kepler lange vergeblich danach; man beachte, daß es auch jetzt noch keine Fernrohre gab. Ungünstige Umstände scheinen dann wieder für lange Zeit die Beobachtung gehindert zu haben, und so erklärt es sich, daß nun in Westfriesland, nämlich zu Franeker[1], 1638, Dez. 10., der Stern von Holwarda ganz neu entdeckt wurde. Die Positionsbestimmung ergab, daß der Stern 3. Größe ein Fixstern war; bis zum heliakischen Untergange fiel die Helligkeit auf die vierte Größe. Seitdem ist der Stern, den Bayer[2] als *o* Ceti, Hevelius aber als den Wunderstern, Mira Ceti, bezeichnet hat, unter dauernder Beobachtung gewesen, abgesehen von der mehrmonatlichen Lücke, die alljährlich die Nähe der Sonne bewirkt. Es hat sich gezeigt, daß er für etwas größere Fernrohre niemals ganz verschwindet; nach Schönfelds Beobachtungen ist er im Minimum niemals schwächer als ein Akolyth 9. Größe, der ihm in $7^s,7$ und $10''$ Abstand nördlich folgt. Die Maxima haben sehr verschiedene Höhe, von der zweiten[3] bis zur vierten Größe, und die Periode beträgt im Mittel elf Monate, ist jedoch selbst in hohem Grade veränderlich. Argelander hat die bis auf seine Zeit beobachteten Maxima durch eine Formel dargestellt, welche in der ihr von Schönfeld gegebenen Fassung

$$\text{Ep. Max. 1866, Nov. } 25^d,47 + 331^d,3363\,E$$
$$+ 10^d,48 \sin\left(\frac{360^\circ \cdot E}{11} + 282^\circ\,45'\right) + 18^d,16 \sin\left(\frac{45^\circ \cdot E}{11} + 31^\circ\,15'\right)$$
$$+ 33^d,90 \sin\left(\frac{45^\circ \cdot E}{22} + 70^\circ\,5'\right) + 65^d,31 \sin\left(\frac{15^\circ \cdot E}{11} + 179^\circ\,48'\right)$$

lautet; hier ist $\pm E$ die Zahl der nach oder vor dem Maximum von 1866 abgelaufenen Perioden, und die vier Sinusglieder zeigen auf leicht erkennbare Art, daß die Periode vier verschieden laufenden Änderungen unterliegt, die selbst periodisch sind und die Höchstbeträge von $\pm\,10^d,48$ u. s. w. nicht überschreiten. Es ist jedoch, wie Schönfeld hervorhebt, das erste periodische Glied nur mäßig begründet, und die Formel hat bei guten Beobachtungen noch Fehler bis zu 25^d gelassen. Der Lichtwechsel von Mira ist also höchst verwickelt, und dasselbe gilt vom Lichtwechsel aller roten Sterne. Zum Überflusse werden die Beobachtungen gerade durch die Rotfärbung noch erschwert. Wer einmal versucht, die Intensitäten von roten und weißen Lichtquellen, z. B. in einer Kirche oder an einem Bahnhofe, zu vergleichen, sieht sich bald in großer Verlegenheit; durch zahlreiche Beobachtungen des

[1] Die dortige Universität wurde erst 1811 von Napoleon aufgehoben.

[2] Vgl. Note 2 S. 545.

[3] Im November 1779 war Mira noch etwas heller.

täglichen Lebens verführt, geraten wir mit Goethe in den Fehler, das Rot an sich für das Ergebnis einer Trübung anzusehen und dann ungerechterweise die rote Lichtquelle zu unterschätzen. Da zudem dieser Fehler, dem verschiedenen Bau der Netzhaut entsprechend, bei den einzelnen Beobachtern sehr verschieden ausfällt, erklären sich die großen Unterschiede in den Angaben über die Helligkeit roter Sterne[1]. Die Photometrie, vorzüglich die Beobachtung mit Zöllners Astrophotometer, kann die Unbestimmtheit vermindern, aber nicht ganz wegschaffen.

Zu dem durch Mira vertretenen Typus gehören die meisten veränderlichen Sterne; die Zahl läßt sich bei der Unsicherheit mancher Angaben nicht genau feststellen, überschreitet aber sicher 300. Es liegt hier noch mehr als bei den kleinen Planeten die Notwendigkeit einer einfachen und deutlichen Nomenklatur vor; da jedoch die Feststellung der Veränderlichkeit längere Zeit erfordert, kann man hier nicht, wie bei den Asteroiden, fortlaufende Nummern setzen, wenn man Ordnung halten will. Nach Argelanders Vorgange werden darum die Veränderlichen nach den Sternbildern benannt, worin sie liegen; ist ein Bayerscher Buchstabe da, so nimmt man diesen, z. B. bei β Lyrae; die zahlreichen schwachen Sterne werden in der Weise numeriert, daß der Stern, dessen Veränderlichkeit zuerst festgestellt worden ist, mit R bezeichnet wird, z. B. R Lyrae, R Coronae; der zweite in demselben Sternbilde heißt S, der dritte T u. s. w. bis Z. In manchen Gegenden der Sphäre drängen sich die Veränderlichen so, daß man über Z hinausgehen muß; der nächstentdeckte Stern heißt dann RR, es folgen RS bis RZ, dann SS bis SZ, TT bis TZ u. s. w. Mit diesen 45 Bezeichnungen wird man für die nächste Zeit auskommen; im Schwan ist man erst bei RZ angelangt, und das ist die an bekannten Veränderlichen reichste Konstellation.

Die meisten Veränderlichen dieses Typus gehen im Minimum unter die Sichtbarkeitsgrenze für kleine und selbst mittelgroße Fernrohre hinab, während sie im Maximum die Schwelle der Sichtbarkeit mit freiem Auge wenig oder gar nicht überschreiten. Vollständigere Angaben sind daher für die Zwecke unseres Buches nicht erforderlich; der Leser, welcher sich mit genauern Karten zu versehen wünscht, wird in der mehrerwähnten Vereinigung[2] die nötigen Ratschläge erhalten. Dieselbe giebt ihren Mitgliedern, welche sich der Beobachtung der Veränderlichen widmen, Aufsuchungskarten in die Hände, wonach die nötigen Vergleichssterne leicht zu bestimmen sind. Als Beispiel

---

[1] Da es sich bei den Beobachtungen weniger um die Lichtstärke an sich, als um deren Verlauf handelt, so ist eine konstante Unter- oder Überschätzung roter Sterne durch denselben Beobachter der Ableitung von Ergebnissen nicht hinderlich; die Schwierigkeiten beginnen aber, wenn man etwa durch die Dürftigkeit des Materials gezwungen wird, die Schätzungen mehrerer Beobachter miteinander zu vergleichen.

[2] Vgl. S. 467, 535.

für eine solche Karte diene Fig. 189, die zugleich, als getreue Wiedergabe eines Ausschnittes aus den Bonner Karten, von dem Reichtume dieser eine

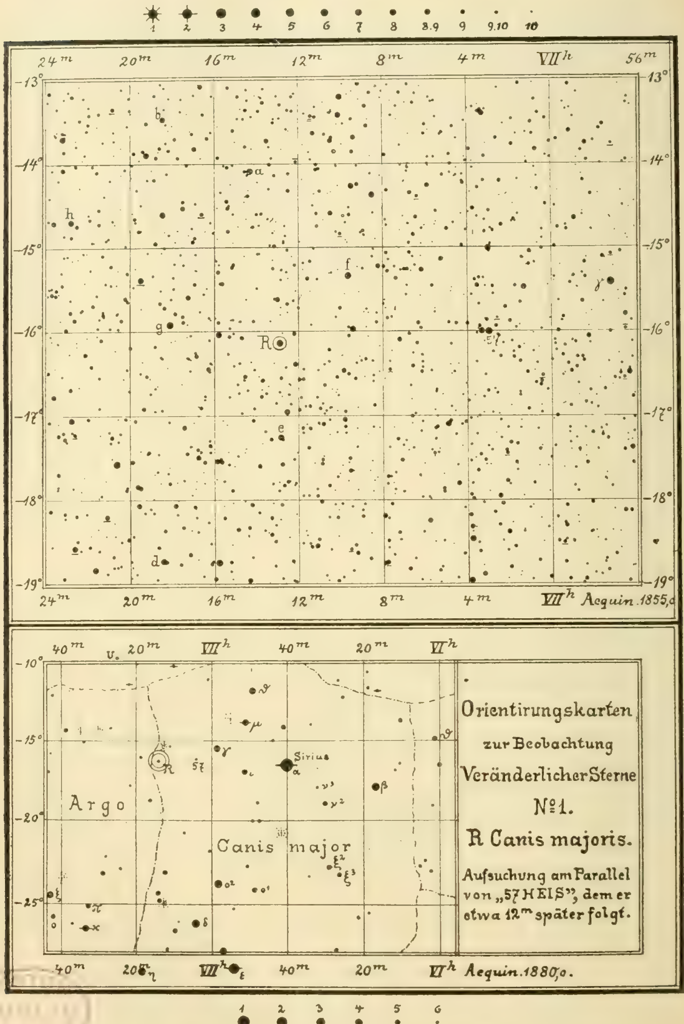


Fig. 189. Aufsuchungskarte für R Canis maioris.

Vorstellung geben kann. Der Stern R Canis mai. gehört übrigens dem Algoltypus an (vgl. S. 529 ff.).

Die Perioden der Mira-Sterne sind sehr verschieden; von den wichtigern hat U Geminorum mit 86^d (?) die kürzeste, S Cassiopeiae mit 610^d die längste Periode. Bei mehreren hat man mit einigem Erfolge versucht, die Änderungen der Periode durch säkular fortschreitende oder periodisch veränderliche Glieder auszudrücken. Indessen sind die meisten Angaben solcher Art unsicher, und alle diese Sterne von langer Periode bedürfen strenger Überwachung. Diese ist nicht immer leicht auszuführen. Die nahezu einjährigen Perioden sind nämlich sehr in der Mehrzahl; außer Mira mit 331^d nennen wir S Ceti mit 321, R Piscium mit 344, R Cancri mit 353, R Aquilae mit 351, S Coronae gar mit 361^d. Jahrelang kann das Maximum eines solchen Sternes mit seiner Sonnenkonjunktion mehr oder weniger genau zusammenfallen, und diese unterbricht bei den der Ekliptik nahestehenden Gestirnen, also bei fast allen soeben genannten, die Beobachtungen etwa um ein Vierteljahr. In der übrigen Zeit werden sie regelmäßig durch den Mond gestört, und zwar in der sonst günstigen Zeit der Sonnenopposition des Veränderlichen sogar durch den nahen Vollmond.

Die Veränderlichen haben eine noch buntere Entdeckungsgeschichte als die Asteroiden. Viele sind bei der Aufnahme der Ekliptikalkarten (vgl S. 405) konstatiert worden; große Durchmusterungen weiterer Gebiete, in erster Linie die Bonner Arbeit, haben gleichfalls Beiträge geliefert. Ist dieselbe Zone des Himmels mehrmals durchbeobachtet, so muß man ja beim nachträglichen Vergleichen der vermerkten Helligkeiten die Zu- oder Abnahme einer Sternhelligkeit bemerken, auch wohl das Fehlen eines Sternes auf der ersten Karte, der auf der zweiten steht, oder umgekehrt. Nicht selten ist ein Stern dadurch als veränderlich erkannt worden, daß man ihn als Vergleichsstern für einen länger bekannten Veränderlichen gebrauchte und beim Berechnen der Beobachtungen auf Widersprüche stieß. Planmäßiges Absuchen von Sternhaufen und überhaupt von sternreichen Gebieten des Himmels, zumal von Photogrammen, die zu verschiedenen Zeiten aufgenommen sind, bereichert gleichfalls manchmal die Liste der Veränderlichen. Jedenfalls wird auch die photographische Himmelskarte das Ihrige beitragen.

Die Sterne des Mira-Typus gleichen dem wunderbaren Gestirn, wonach sie benannt sind, auch darin, daß ihr Lichtwechsel viele Größenklassen umfaßt, und daß die verschiedenen Maxima, vielfach auch die Minima, ungleiche Höhe haben. Eine Lichtkurve, die etwa gleich der von δ Cephei (Fig. 188, S. 539) immer wieder durchlaufen würde, läßt sich also nicht angeben; nur gilt mit ziemlicher Allgemeinheit, daß das Licht schneller zu- als abnimmt. Zur Erklärung des Lichtwechsels dieser Sterne nahm Zöllner an, daß sie sich schon in ziemlich abgekühltem Zustande befinden und große dunklere

Schlackenfelder bilden, deren Rotation, Eigenbewegung und Veränderlichkeit den Lichtwechsel erklären soll. Indem er ferner nachzuweisen suchte, daß solche Schlacken an der bei der Rotation vorangehenden Seite zugespitzt, an der nachfolgenden breit abgeschnitten seien[1], gelang es ihm, auch das Mißverhältnis zwischen den Zeiten der Zu- und Abnahme zu erklären. Gyldén hat dann noch betont, daß die Rotationsachse eines solchen Körpers von seinen natürlichen Drehungsachsen zeitweilig sehr weit abweichen kann, wodurch sich manche periodische Änderung ungezwungen erklären läßt.

Die Hypothese, welche Klinkerfues zur Erklärung des Lichtwechsels der Veränderlichen, und zwar nicht nur der roten, ausgedacht hat, verdient anscheinend auch noch Beachtung. Die rote Farbe soll nicht von einer verminderten Emission von Licht und Wärme herrühren, sondern von der Absorption in einer hohen und dichten Atmosphäre, wodurch wie bei ♂ und ☉ (S. 291 und 307) die brechbareren Spektralgebiete vorzugsweise betroffen werden sollen. Läuft nun um den Fixstern ein Begleiter von nicht viel kleinerer Masse in excentrischer Bahn, dann wird er im Periastron sehr starke, im Apoastron sehr schwache Flutwellen hervorrufen; diese Wellen bedeuten da, wo sie auftreten, eine vermehrte Absorption, während im Ebbegebiete die Oberfläche des leuchtenden Himmelskörpers aufgehellt wird. Störungen durch andere Begleiter, Rotationen u. s. w. können auch hier manches erklären. Für die Ansicht spricht unter anderem die Erwägung, daß viele Fixsterne Begleiter haben, deren Größe mit der ihrigen verglichen werden kann, und daß, wenn etwa die ♂ bei ihrer Umlaufszeit von 365^d die Masse der ☉ oder auch nur des ♃ hätte, gewaltige Fluten auf der Sonne unausbleiblich wären, zumal bei großer Excentricität.

Wie uns scheint, ist die spektralanalytische und photometrische Untersuchung der roten Veränderlichen, also im ganzen des dritten Secchischen Typus, noch nicht weit genug vorgeschritten, um zwischen diesen Ansichten und ihren in neuester Zeit aufgekommenen Modifikationen eine Entscheidung zu ermöglichen. Systematisch wiederholte spektrographische Aufnahmen aller roten Sterne, soweit die Kraft der Instrumente reicht, werden vielleicht allgemein Änderungen der Intensität einzelner Linien und hellen Gebiete erkennen lassen, die mit den Intensitätsänderungen des Ganzen parallel gehen und weitere Schlüsse gestatten.

Eines aber ist jetzt schon zu vermuten: welches auch die Ursachen der Veränderlichkeit dieser Himmelskörper sein mögen, sie werden nicht alle in gleichem Maße betreffen. Die Rotation muß einen Stern als sehr veränderlich erscheinen lassen, wenn die Achse auf der Gesichtslinie senkrecht steht; fällt sie aber mit dieser Linie zusammen, so ist der Stern

[1] Infolge von Vorgängen, die unsern Meeresströmungen analog sind.

unveränderlich, sobald eben nur die Rotation in Betracht kommt. Über die Bahnlage eines fluterzeugenden Begleiters läßt sich dasselbe sagen, und sogar eine unserer Sonnenfleckenperiode entsprechende Veränderlichkeit in der Schlackenhäufigkeit der Oberfläche, wie sie zur Erklärung der ungleichen Höhen der einzelnen Maxima oder Minima dienen kann, wird nahezu unwirksam bleiben, wenn sie an gewisse Parallelkreise in der Nähe des Äquators gebunden ist und die Rotationsachse in der Gesichtslinie liegt. Es ist also jedenfalls zu vermuten, daß es außer den stark veränderlichen roten Sternen auch noch schwach veränderliche giebt; hier sind die Änderungen zeitweilig geringer als die wahrscheinlichen Beobachtungsfehler, merkwürdigerweise gerade bei hellen Sternen, weil man zu diesen die Vergleichssterne gewöhnlich in weiterem Abstande suchen muß und dann, wenn man auch dem Unterschiede in der atmosphärischen Absorption durch Verbesserungen Rechnung tragen kann, doch nicht die Ungleichheit im Einflusse von Mondschein, Dämmerung und Zodiakallicht zu beseitigen vermag. Die schwach und unregelmäßig veränderlichen Sterne faßt man zu einem vierten Typus des Lichtwechsels zusammen, den wir den Orion-Typus nennen wollen, weil α und δ Orionis ausgezeichnete Beispiele dafür sind. Er umfaßt (gleich dem Mira-Typus) neben roten auch gelbe Sterne, z. B. ε Aurigae, und selbst weiße, wie δ Orionis. Fernere Beispiele sind: α Cassiopeiae, dessen schwache und unregelmäßige Änderungen doch insofern die allgemeinen Gesetze bestätigen, als — nach unsern Beobachtungen wenigstens — die Zunahme rascher als die Abnahme verläuft; ρ Persei, vielfach als Vergleichsstern für den nahestehenden Algol gebraucht und dabei selbst als veränderlich erkannt; ε Aurigae, mit schwer festzustellendem Lichtwechsel wegen ungünstiger Lage der Vergleichssterne; η Geminorum[1], mit manchmal verschwindend kleinen, manchmal bedeutenderen Änderungen; α und g Herculis, β Pegasi, alle schwer zu beobachten, aber manchmal doch in sehr deutlicher Weise veränderlich; R Lyrae, mit einer ziemlich gut hervortretenden 46tägigen Periode vielleicht besser dem Mira-Typus zuzuweisen. Alle genannten Sterne bleiben auch im Minimum für das freie Auge bequem sichtbar.

Dem rötesten unter allen dem freien Auge sichtbaren Sternen der Nordhalbkugel hat W. Herschel den Namen Granatstern gegeben; es ist der Veränderliche μ Cephei, im Maximum von der vierten, im Minimum von der fünften Größe. Da seine Änderungen gewöhnlich der Grenze der Beobachtungsfehler nahe liegen, so kann man ihn dem durch α Orionis vertretenen Typus zugesellen. Indessen ist bei diesem Stern der Beobachter in der günstigen Lage, gute Vergleichssterne in ziemlicher Nähe benutzen zu können, wodurch

[1] In der Nähe steht der leicht zu beobachtende Stern ζ Geminorum, vom Typus β Lyrae.

mehrere Fehlerquellen verstopft werden. Es ist uns durch anhaltendes Beobachten und durch eine sorgfältige Mittelbildung beim Ableiten der Ergebnisse der Nachweis gelungen, daß der Lichtwechsel des Granatsternes, bei dem noch Argelander und Schönfeld wenig Greifbares herausfanden, bestimmten Gesetzen gehorcht, als deren wichtigstes die epicyklische Auftragung einer kleinen Periode schwacher Lichtänderungen auf eine größere erscheint, die bedeutende Änderungen im Laufe mehrerer Jahre hervorruft. Wir haben die Ergebnisse der vorläufigen Rechnungen an anderer Stelle mitgeteilt; nachstehende Zahlen sind die genauern. Als Vergleichssterne dienten ζ, ε, ν, 9 Fl, λ Cephei. Sie ergeben folgende Skala:

* Pl.	Diff. Pl.	D. Pl. : D. H. Ph.	Diff. H. Ph.	* H. Ph.
ζ = 28,00				3,54
	11,00	1,57	7,00	
ε = 17,00				4,24
	4,05	1,56	2,60	
ν = 12,96				4,50
	4,13	1,42	2,90	
9 = 8,83				4,79
	8,83	1,77	5,00	
λ = 0,00				5,29

Es wurden nämlich in der auf S. 533—534 mitgeteilten Weise die Differenzen der Vergleichssternhelligkeiten (Diff. Pl.) aus den Beobachtungen abgeleitet, und daraus wurde, nachdem $\lambda = 0{,}00$ gesetzt war, die Skala der ersten Spalte ermittelt. Die letzte Spalte enthält für die einzelnen Sterne die Größenklassen nach der in Cambridge photometrisch ermittelten Skala der hellern Sterne, der sogen. Harvard Photometry, und die vierte Spalte von den Differenzen dieser Zahlen die zehnfachen Werte, also die Stufendifferenzen in dem vielfach gebrauchten Sinne, daß die Einheit das Zehntel der Größenklasse bildet. Die mittelste Spalte enthält die Quotienten aus den Zahlen der beiden benachbarten; die Quotienten 1,56, 1,42, 1,77 zeigen, daß die nach Argelanders Methode bestimmten Vergleichssterndifferenzen den photometrisch bestimmten[1] nahezu proportional sind, und so erschien es gerechtfertigt, für die Differenz $\zeta - \varepsilon$, wofür die Beobachtungen zu wenig Material boten, dasselbe Verhalten anzunehmen, woraus unter entsprechender Abrundung für den übrigens wenig benutzten Stern ζ die Höhe 28,00 folgte.

Die Beobachtungen vom April 1888 bis zum Januar 1895, wo durch schlechtes Wetter leider eine mehrmonatige Unterbrechung im interessantesten Teile der Kurve eintrat, waren so zahlreich, daß im Durchschnitt eine auf $5^d{,}7$ kam; sie wurden zu Mitteln vereinigt, die zur Konstruktion einer Kurve benutzt werden konnten. In den nachstehenden Übersichten sind die Zeiten der Einfachheit halber julianisch ausgedrückt.

---

[1] Also den logarithmischen Differenzen der wahren Intensitäten.

Minima der kleinen Oscillation.

Ep.	Min. computatum.	Min. observatum.	C — O	μ
150	2 411 242^d,67	256	13,33	12,47
151	349,11	330	+ 19,11	13,22
152	455,55	425	+ 30,55	13,10
154	668,43	677	— 8,57	13,00
155	774,87	780	— 5,13	14,26
157	987,75	*009	— 21,25	11,66
158	2 412 094,19	105	— 10,81	12,77
159	200,63	199	+ 1,63	12,72
162	519,95	554	— 34,05	12,90
163	626,39	605	+ 21,39	12,60
164	732,83	731	+ 1,83	12,50
165	839,27	845	— 5,73	12,90
166	945,71	921	+ 24,71	12,43

Maxima der kleinen Oscillation.

Ep.	Max. computatum.	Max. observatum.	C — O	μ
150	2 411 312^d,07	292	+ 20,07	13,52
151	416,04	394	+ 22,04	13,71
152	520,01	508	+ 12,01	14,42
153	623,98	659	— 35,02	13,30
154	727,95	719	+ 8,95	14,58
157	2 412 039,86	060	— 20,14	13,42
158	143,83	160	— 16,17	13,39
160	351,77	319	+ 32,77	13,54
161	455,74	487	— 31,26	14,23
162	559,71	576	— 16,29	13,34
163	663,68	649	+ 14,68	13,78
164	767,65	814	— 46,35	13,31
165	871,62	878	— 6,38	14,35
166	975,59	969	+ 6,59	14,00
167	2 413 079,56	047	+ 32,56	13,30
168	183,53	161	+ 22,53	13,09

Betrachten wir zuerst die Tafel der Minima. Hier sind in der ersten Spalte die Epochen der Minima, d. h. ihre Nummern nach einer willkürlichen Zählung, angegeben; wie man sieht, haben sich nicht alle Minima beobachten lassen. Die dritte Spalte giebt den julianischen Tag für das Minimum, wie er sich aus der Kurve ergeben hat, als minimum observatum; die Anfangszahlen sind links zu suchen, das erste beobachtete Minimum Ep. 150 fiel also auf 2 411 256^d, Ep. 157 auf 2 412 009^d. Die letzte Spalte giebt unter μ die Helligkeit des Sternes in den einzelnen Minimis; wie man sieht, ist sie keineswegs immer dieselbe. Die beobachteten Minimalepochen lassen sich mit einiger Annäherung durch die Formel

$$\text{Ep.}_n = 2\,411\,242^d{,}67 + 106^d{,}44\ (n - 150)$$

darstellen, wo n die Zahl der Epoche ist. Die hiernach berechneten Epochen giebt die zweite Spalte unter min. computatum, und die Differenzen C — O zwischen den Zeiten der berechneten und der beobachteten Minima, also die verfrühten (+) oder verspäteten (—) Eintritte der beobachteten, zeigen einen gewissen Gang, indem sie sich nach einer größern Periode, die vielleicht 3,5 der kleinen beträgt, wiederholen.

Die Tafel der Maxima ist genau ebenso wie die der Minima eingerichtet, die Formel

$$\text{Ep.}_n = 2\,411\,312^d{,}07 + 103^d{,}97\ (n - 150)$$

stellt sie ziemlich gut dar, so daß im Mittel aus den Maximis und Minimis die Periode etwa auf 105^d angesetzt werden kann. Auch hier zeigt sich die

größere Periode der Verfrühungen und Verspätungen. Es versteht sich, daß bei der äußerst geringen Amplitude der kleinen Schwankung und der lebhaften Röte des Sternes immer noch bedeutende Fehler übrig bleiben. Der Mittelwert des Unterschiedes zwischen den Helligkeiten von μ im Maximum und Minimum ergiebt sich zu 1,1 von den Stufen des Beobachters oder 0,69 Harvard-Stufen; er bedeutet eine Intensitätsänderung etwa im Verhältnisse $2{,}5^{0{,}069} = 1{,}0653$.

Eine sorgfältige Berechnung der ältern Beobachtungen Argelanders ergab noch für dessen Minima die Epoche $2\,399\,064^d{,}7$ und die Periode $81^d{,}2$, während für die Maxima die Zahlen $2\,399\,087^d{,}3$ und $83^d{,}9$ herauskommen. Die Periode hat sich also seit Argelanders Zeiten nicht unmerklich verlängert; dagegen scheinen, wie die Untersuchung gelehrt hat, die großen Schwankungen seltener geworden zu sein.

Jedenfalls ist noch bei mehreren Veränderlichen des vierten Typus vieles dieser Art zu ermitteln.

* * *

Während uns die Veränderlichen vom Orion-Typus den Lichtwechsel, wie ihn die vom Mira-Typus durchmachen, in abgeschwächter Form zeigen, giebt es einen fünften Typus, den der neuen Sterne, wo die Änderungen außergewöhnlich stark sind. Ehe wir ihn besprechen, mögen alle fünf Typen der Veränderlichkeit zusammengestellt werden.

1. Algoltypus. Sterne der ersten beiden Spektral-Typen. Die Periode umfaßt wenige Tage, ist konstant oder sehr regelmäßig veränderlich. Dasselbe gilt von der Lichtkurve, die größtenteils ganz oder nahezu horizontal verläuft.

2. Typus β Lyrae. Ebenso, Perioden durchschnittlich etwas länger, Lichtkurve in keinem Teile horizontal.

3. Mira-Typus. Große Änderungen, die in Perioden von 50 bis 600^d durchlaufen werden. Dritter oder zweiter Spektraltypus. Periode, Lichtkurve, Maximal- und Minimalhelligkeit stark veränderlich. Zunahme schneller als die Abnahme.

4. Orion-Typus. Ebenso, die Änderungen aber meistens den Grenzen der Beobachtungsfehler nahe gerückt oder geradezu innerhalb dieser Grenzen befindlich.

5. Neue Sterne. Dritter Spektraltypus. Jähes Aufflammen von sehr geringer zu sehr großer Helligkeit, dann in starken Schwankungen ein langsamerer Abfall. Das Aufflammen kann sich wiederholen.

Diese fünf Typen verbinden sich durch Übergangsglieder. Sind die Übergänge zwischen dem 1. und 2., also Y Cygni und Z Herculis, vielleicht auch λ Tauri, an sich nicht zu verwundern, so ist es um so merkwürdiger, daß auch der 2. und 3. Typus Bindeglieder haben. Genaue Beobachtung

hat hier noch viel aufzuklären. Dagegen ist es natürlich, daß bezüglich der Zugehörigkeit eines Gestirns zum 3. oder 4. Typus Zweifel bestehen können, und auch in den 5. geht der 3. durch Zwischenglieder über, wie das Beispiel von η Argus zeigt.

Von dem Sternbilde Argo ist der größte Teil im mittlern Europa unsichtbar; so auch dessen glänzendster Stern α oder Canopus, nächst Sirius der hellste Fixstern überhaupt, und der dem Südpole noch nähere Veränderliche η (RA = $10^h\ 41^m$, 2, Decl = — 59° 10′ für 1900,0[1]). Die nachfolgenden Angaben werden verständlicher werden, wenn wir mitteilen, daß nach Pickerings Bestimmung Sirius die 9,12fache, Canopus die 5,25fache und α Crucis die 1,10fache wahre Intensität von Altair hat, den man als Normalstern 1. Größe betrachtet. Halley, der 1677 im Auftrage der englischen Regierung auf St. Helena die südlichen Sterne beobachtete, gab η Argus die 4. Größe; etwa zehn Jahre später notierte P. Noël die 2., 1751 Lacaille ebenfalls die 2., 1811—1815 Burchell wieder die 4. Größe. Derselbe Beobachter stellte 1827 die Veränderlichkeit des Sternes fest, der inzwischen ein paar Jahre vorher wieder die 2. Größe gehabt hatte und nun auf einmal den Glanz von α Crucis besaß. Nach einem Jahre war wieder die 2. Größe erreicht, 1837 strahlte η in 1. Größe und wurde nur von Sirius und Canopus übertroffen. Die Helligkeit nahm nun bis zum März 1843 ab, so jedoch, daß der Stern in der 1. Größenklasse verblieb. Im nächsten Monat flammte er zu einer Helligkeit auf, welche der des Sirius nahe kam, nahm dann langsam wieder ab, blieb jedoch bis 1850 immer noch heller als Canopus. Immer schwächer werdend, unterschritt er 1863 die 5. Größe und 1878 die Größe 6,6, also die Sichtbarkeitsgrenze für sehr scharfe unbewaffnete Augen. In der letzten Zeit war die Helligkeit ziemlich konstant 7,4; nur 1888 und 1889 haben Tebbutt in Windsor (N. S. W.) und Thome in Cordoba (Argent.) eine kleine Anschwellung auf 7,0 oder 6,65 beobachtet.

Ein Fixstern also, der jahrelang (1843—1850) der zweithellste des Himmels war, ist nun schon seit langer Zeit mit freiem Auge überhaupt nicht zu sehen! Das genaue Intensitätsverhältnis zweier Größenklassen wird jetzt zu 2,512 angenommen; nimmt man nun an, daß η Argus, als er dem Sirius nahe kam, die 7,5fache Intensität eines Normalsternes 1. Größe hatte, so ist diese seitdem in dem Verhältnisse

$$7{,}5 \cdot 2{,}512^{6,5} = 10^{0,8751 + 6,5 \cdot 0,4000} = 10^{3,4751} = 2986$$

geringer geworden. Die Schwankung bei Mira, die von der Größe 1,7,

[1] Wäre der Stern in Europa sichtbar, so wäre man zweifellos schon eher auf seinen Lichtwechsel aufmerksam geworden und hätte ihn im 17. und 18. Jahrhundert sorgfältiger überwacht.

dem hellsten beobachteten Maximum, bis zur 9. geht, ist ungefähr von derselben Größenordnung, scheint aber ganz andere Ursachen zu haben, da sie an die weit kürzere elfmonatliche Periode gebunden ist. Übrigens sind beide Sterne rötlich gelb; η Argus ist außerdem durch helle Linien ausgezeichnet und steht in einem ausgedehnten, gleichfalls (ob mit Recht?) der Veränderlichkeit geziehenen Nebel.

Es ist merkwürdig, daß in einer Zeit, welche auch sonst für die Astronomie von höchster Bedeutung war, nicht weniger als drei neue Sterne bald nacheinander aufgeleuchtet und von den damaligen großen Meistern der Wissenschaft beobachtet worden sind. Von einer Reise zurückgekehrt, richtete 1572, November 11. auf dem Landgute Harritzwaldt der berühmte Beobachter Tycho seine Blicke auf das ihm wohlbekannte Himmelsgewölbe; in der Cassiopeia, nicht weit nordwestlich von $\varkappa$, sah er zu seinem Erstaunen einen Fixstern, der, heller als Wega und Sirius, nur mit der ♀ zur Zeit ihres größten Glanzes verglichen werden konnte. Es hat sich später herausgestellt, daß Lindauer in Winterthur bereits 4^d vor Tycho den Stern gesehen hatte. Während des ganzen Novembers blieb der Stern weiß und ebenso hell wie bei der Entdeckung; im Dezember noch dem ♃ gleich, wurde er im Januar merklich schwächer, war jedoch auch im Februar und März immer noch den meisten Fixsternen erster Größe ebenbürtig. Hierbei auch allmählich gelb geworden, verfärbte sich die Nova im Frühjahr zur Röte des ♂, war im Mai von der 2. Größe und bleigrau wie ♄, vom Juni bis zum August 3. Größe, September bis November 4., im folgenden Januar 5. und im Februar 6. Größe. Im März 1574 wurde die Sichtbarkeitsschwelle für freie Augen überschritten; und da das Fernrohr noch nicht erfunden war, konnte die Tychonische Nova nicht weiter verfolgt werden. Aus den sorgfältigen und für ihre Zeit sehr genauen Messungen von Tycho, dem man auch die Mitteilungen über den Licht- und Farbenwechsel verdankt, ergab sich die Unveränderlichkeit des Ortes, also die Fixsternnatur des Himmelskörpers. Der von Argelander auf Grund dieser Rechnungen angegebene Ort lautet, auf 1890,0 bezogen, $0^h\ 18^m\ 41^s + 63^0\ 32'$, wonach es leicht ist, mit Hilfe der Tafel I ihn zu ermitteln. Ein von d'Arrest (1864) nur $49''$ von diesem Orte entfernt aufgefundenes, vielleicht schwach veränderliches Sternchen kann mit B Cassiopeiae identisch sein, da Tychos Bestimmungen vielleicht um diesen Betrag ungenau waren. Aber ein zwingender Grund liegt nicht vor.

Zur Zeit des Tycho behauptete der böhmische Astronom Cyprianus Leovitius, angeblich aus alten Handschriften schöpfend, daß in derselben Gegend der Sphäre bereits in den Jahren 945 und 1264 ein neuer Stern aufgeflammt sei. Hat man es hier mit einem einzigen Stern zu thun, der in der sehr langen Periode von etwa 314^a sein Licht wechselt? Gegen diese

Annahme spricht die Erwägung, daß das Ereignis bei keinem andern Schriftsteller vorkommt, auch nicht bei solchen, die wie Al-Sufi (903—986[1]) es hätten melden müssen. Andererseits ist in den letzten Jahren eine Hypothese aufgekommen, die einen Lichtwechsel von so langer Periode allenfalls erklären könnte. Wird ein Fixstern von einem nicht viel kleinern Planeten in einer sehr excentrischen Bahn umlaufen, und steht im Periastron der Planet für uns seitwärts von der Gesichtslinie, so ruft er auf dem Fixstern eine gewaltige Flutwelle hervor, und zwar auf der Zenith- und der Nadirseite. Die zur Erde gewandte Seite wird von der schweren absorbierenden Atmosphäre fast ganz entblößt, was einen Ausbruch glühender Gase zur Folge hat. Man stellt sich am besten einen Stern vom dritten Spektraltypus vor, wo die Absorption für gewöhnlich weit gediehen ist. Der Stern bietet uns also das Phänomen eines plötzlichen Aufflammens, und erst nach längerer Zeit, nach einem oder zwei Jahren, wenn der Planet etwas weiter vom Fixstern absteht, treten ruhigere Zustände ein. Hätte B Cassiopeiae einen solchen Begleiter, und wäre die Angabe von Leovitius beglaubigt, so könnte man mit der Periode weiter rechnen und käme dann auf unsere Tage, denen aber das Schauspiel — es hätte doch spätestens 1887 eintreten müssen — versagt geblieben ist. Man kann auch zurückrechnen und kommt dann ungefähr auf das Geburtsjahr Christi. Darum haben Chladni, Klinkerfues[2] und andere ziemlich vorschnell die Tychonische Nova für den biblischen Stern der Magier gehalten. Für uns ist es zweifellos, daß die Mitteilungen der Heiligen Schrift über diese rätselhafte Erscheinung[3], denen keine entsprechende Angabe eines Profanschriftstellers zur Seite steht, nur auf einen wirklich wunderbaren Vorgang und nicht auf eine Himmelserscheinung im gewöhnlichen Sinne bezogen werden können, also weder auf eine Nova, noch, wie man wohl gedacht hat, auf eine Konjunktion von ♀, ♃ und ♄ oder auf einen Kometen.

Da bis jetzt für keine Nova, auch nicht für die Tychonische, eine regelmäßige Wiederkehr des Aufflammens nach einer bestimmten Periode nachgewiesen ist, kommt man vielleicht mit Zöllners Hypothese etwas besser aus. Er nahm an, daß sich ein roter Stern allmählich immer mehr mit Schlacken bedecke und somit dunkler werde; die zusammenschrumpfende Rinde rufe aber ab und zu Ausbrüche hervor. Die regelmäßige Wiederkehr dieser Ausbrüche kann vielleicht den Lichtwechsel von η Argus und den meisten Novis erklären. Für den von Tycho bei seiner Nova beobachteten Farben-

---

[1] Dieser aufmerksame Beobachter erwähnt sogar den Andromeda-Nebel.

[2] Klinkerfues schuldet man, wie wir wissen, auch die ersten Gedanken über die veränderliche Absorption als Ursache des Lichtwechsels der Sterne. Man beliebt zuweilen diese Priorität auf spätere Forscher zu übertragen.

[3] Z. B. das Stehenbleiben über dem Stalle zu Bethlehem.

wechsel kann man drei Ursachen anführen: anfängliche Emission aller Strahlengattungen, spätere Beschränkung auf die minder brechbaren, und zwar im Sinne beider Hypothesen; oder vermehrte Absorption nach dem Ausbruche, gleichfalls in dem einen oder andern Sinne deutbar; oder endlich die bekannte Thatsache, daß intensive farbige Lichtquellen durch Überreizung der Netzhaut weiß erscheinen und die Farbe erst bei der Abschwächung auftritt. So erscheint eine bengalische Flamme weiß, während ihr Schein alles andere rötet[1].

Chinesische Annalen verzeichnen neue Sterne in den Jahren 1578 und 1584; der im Jahre 1600 von Janson in der 3. Größe wahrgenommene Stern P Cygni, der seitdem mehrfach schwächer gewesen ist und jetzt ziemlich konstant 5. Größe zu sein scheint, darf wohl nicht als Nova im engern Sinne gelten.

Brunowski, ein Schüler Keplers, entdeckte 1604, Oktober 10. eine Nova im Schlangenträger, die heller als ♃, aber schwächer als ♀ war. Der Verlauf des Lichtwechsels erinnert sehr an B Cassiopeiae; der Stern verschwand im März 1606.

Einige andere neue Sterne übergehend[2], erwähnen wir kurz die Nova T Coronae, die 1866, Mai 12. anscheinend in weniger als $2^1/_2{}^h$ von der 9,5. zur 2. Größe aufgeflammt ist — eine Schnelligkeit, die sich kaum anders als durch den Herabsturz eines Begleiters erklären läßt — und dann, wie die übrigen Novae, längere und heftige Schwankungen durchmachte, bis sie ziemlich unverändert bei der 10. Größe verblieb.

Gegen Ende Januar 1892 entdeckte der schottische Philologe Rev. Dr. Anderson einen schwachen Stern im Fuhrmann, die Nova T Aurigae ($5^h\,26^m + 30^\circ\,22'$ für 1900,0). Die bald darauf telegraphisch verbreitete Meldung von dem Ereignisse setzte eine Menge geschulter Beobachter in Thätigkeit, und was besonders interessant war, man hatte den Stern bereits in den Akten. In Cambridge (Mass.) wurden die großen Photographien nachgesehen, die man zur Sicherung der Statistik des Himmels möglichst oft aufnimmt, und da zeigte sich, daß bis 1891, Dezember 1. an der Stelle der Nova noch kein Stern 11. (oder gar 13.) Größe gestanden hatte[3]; die Aufnahmen waren dann durch des Wetters Ungunst unterbrochen worden, und die vom 10. Dezember, die erste wieder erhaltene, zeigt nun plötzlich den Stern in der Größe 5,37. Es folgen weitere Aufnahmen, die nachstehende Helligkeiten ergeben haben:

---

[1] Dieses Bild verdankt man Schönfeld.

[2] Auch hier ist es uns nicht um Vollständigkeit, sondern um Vorführung charakteristischer Beispiele zu thun.

[3] M. Wolfs Aufnahme des Gebietes 1891, Dez. 8. hat den Stern auch noch nicht.

1891.	Größe.	1891.	Größe.	1892.	Größe.	1892.	Größe.
Dez. 11.	5,33	Dez. 18.	4,46	Jan. 5.	4,58	Jan. 16.	4,96
13.	5,22	28.	4,55	8.	4,72	20.	5,23
17.	4,67	30.	4,60	9.	4,67		

Hier brechen die Photogramme wieder ab; seit Anfang Februar lagen aber zahlreiche Stufenschätzungen, photometrische und auch wieder photographische Bestimmungen vor, aus deren Gesamtheit E. Lindemann die nachstehenden Helligkeiten abgeleitet hat:

	Größe.		Größe.		Größe.		Größe.
Febr. 1.	5,65	Febr. 17.	5,65	März 2.	5,50	März 18.	9,30
3.	5,17	19.	5,40	4.	5,70	20.	9,90
5.	4,73	21.	5,68	6.	5,93	22.	10,74
7.	4,70	23.	5,92	8.	6,20	24.	11,44
9.	5,17	25.	5,85	10.	6,96	26.	11,96
11.	5,17	27.	5,67	12.	7,58	28.	12,70
13.	5,20	29.	5,53	14.	8,11	30.	13,12
15.	5,58			16.	8,64		

Man bemerkt hier die charakteristischen Vorgänge beim Aufleuchten einer Nova: das schnellere Ansteigen zum Maximum (vielleicht Dezember 23.), dann die durch mehrere Schwankungen unterbrochene Abnahme, die anfangs im ganzen langsam, später (im März) rapide verläuft, sich jedoch schließlich wieder verlangsamt. Der Stern fiel April 6. unter die 14. Größe und verschwand April 26. für den Lick-Refraktor, damals das größte Fernrohr der Welt. Er tauchte aber August 17. ziemlich plötzlich als nebelartiges Gebilde 10. oder 11. Größe auf und hat seitdem noch mehrfach einen kleinen Lichtwechsel gezeigt. Spektrogramme, die in Potsdam um Mitte Februar gewonnen wurden, zeigen die Übereinanderlagerung von zwei Spektren, einem mit hellen und einem mit dunkeln Linien; die Linien sind gegen die bekannten irdischen im entgegengesetzten Sinne verschoben, woraus sich ein enorm schneller Umlauf zweier Körper mit Geschwindigkeiten von 67 und 48 myriom ergab[1]. Kleinere Werte fand Campbell bei zwei spätern Erscheinungen des Sternes.

Möglicherweise ist uns hier ein Fingerzeig zur Erklärung des Aufflammens auch anderer Novae gegeben: schiefer Zusammenstoß zweier Körper, wodurch unter mächtiger Wärmeentwicklung eine Art Mittelding zwischen Rotation und Umlauf entsteht. Das wechselvolle Spiel der ursprünglichen Rotationen und fortschreitenden Bewegungen, der Wärme und der Gravitation mag sich der Leser selbst ausmalen.

---

[1] Das sind genauer die Verschiebungen im Visionsradius, von denen noch die etwaige gemeinsame Verschiebung in entgegengesetztem Sinne abzuziehen ist.

Siebenunddreißigstes Kapitel.

Werden und Vergehen im All. — Die Nebularhypothese.

Die feierliche Ruhe und Unveränderlichkeit, welche den Fixsternhimmel im Gegensatze zu dem wechselnden Stande und Lichte des Mondes und der Planeten zu kennzeichnen scheint, verliert sich desto mehr, je länger man sich mit ihm beschäftigt. Nach Abzug der scheinbaren Richtungsänderungen, welche die Fixsterne durch den täglichen und jährlichen Lauf der Erde, durch die Veränderung der Fundamentalebenen und die fortschreitende Bewegung des Sonnensystems erfahren, bleiben in zahlreichen Fällen wirkliche Bewegungen im Raume übrig, und zwar periodische und fortschreitende. Es ist nur die Größe des Weltalls, die uns auf den ersten Blick das Bestehen dieser Bewegungen nicht erkennen läßt.

Wo Bewegung ist, da ist auch Werden und Vergehen, Geburt und Tod. Wie man sich fragen kann, welche Folgen die langsam, aber stetig fortschreitende Abkühlung zuwege bringt, die die Fixsterne erleiden, wie man das Nebeneinander von weißen, gelben und roten Sternen als das Bild einer Entwicklung auffaßt, die von höchster Glut abwärts bis zu völliger Erkaltung und Auslöschung führt: so kann man sich auch die Frage stellen, wie denn die Materie überhaupt in den Glutzustand gekommen ist, wie sich Fixsterne und Planeten zusammenfanden, um Jahrtausende hindurch die regelmäßigen, für das organische Leben so bedeutungsvollen Umlaufsbewegungen zu vollziehen.

Wieweit man die für das Entstehen einer Welt notwendige Kausalreihe nun auch zurückverfolgen möge, ein erster Zustand ist nicht zu finden, es scheint der Wissenschaft zu widerstreben, irgendwo einen ersten Anfang zu setzen, also einen Zustand, der selbst nicht wieder die Folge eines frühern ist. Hier wie in der Frage nach den Grenzen des Raumes möchte es scheinen, als dürften wir nirgendwo anhalten, um nicht in die gähnende Leere einer unausgefüllten, unendlich großen Form hineinstarren zu müssen.

Es scheint so, und es wird dann auch vielfach ausgesprochen, und dennoch liegt bei der Zeit die Sache anders als bei dem Raume. Setzt man eine endliche Welt in den unendlichen Raum und giebt ihr auf, sich an bestimmte Grenzen für immer zu binden, so kommt man in Widersprüche mit den Naturgesetzen, Widersprüche, aus denen vielleicht die Annahme einer sphärischen Natur des Raumes (vgl. S. 519—521) einen Ausweg anzeigt. Ein zeitlicher Beginn ist weniger anstößig. Wird eine Menge von Atomen, die vorher nicht existierten, in einem bestimmten Augenblicke, welcher zugleich den Anfang der Zeit darstellt, an bestimmte Punkte gesetzt und im übrigen den bekannten Anziehungsgesetzen unterworfen, so haben wir mit einer bloß

logisch möglichen Rückwärtsverlängerung der unermeßlichen Achse, die wir Zeit nennen, nichts für die Betrachtung der Materie gewonnen; mag sie sich verlängern lassen, für die Materie ist das gleichgültig. Wem es gefällt, der mag den Anfang der Zeit, also des Bestehens der Materie, recht weit zurückschieben und dabei selbst zu der Vorstellung einer von Ewigkeit her bestehenden Materie, d. h. zum Ausschlusse der Vorstellung eines zeitlichen Anfanges, vorzudringen — glauben.

Wie stellt sich nun zu diesen Fragen die Metaphysik, die Religion? Ängstliche Gemüter sind mitunter geneigt, die Ergebnisse der Himmelsforschung und die daraus gezogenen Weltbildungslehren, die kosmogonischen[1] Hypothesen, zu beanstanden oder mindestens zu bedauern, weil der Glaube an einen allmächtigen Schöpfer, wie sie sich ihn zurechtgelegt haben, unter einer zu großen Selbständigkeit der Materie und ihrer Gesetze leiden könne. Solche Ängstlichkeit ist durchaus zwecklos und rechtfertigt fast den Vorwurf der doppelten Buchführung im Denken, den man besonders den unterrichteten Anhängern des Gottesglaubens zu machen liebt.

Hier ist nicht der Ort, auf die kosmogonischen Ansichten der verschiedenen religiösen Systeme der Menschheit einzugehen, es soll nur betont werden, daß das konsequenteste unter ihnen, das christliche, wie es sich in den Denkern des Mittelalters verkörpert hat, allen Kosmogonien völlig freie Bahn läßt. Die neuere katholische Exegese steht auf demselben Standpunkte. Die Materie ist erschaffen, d. h. sie trägt nicht in sich selbst den Grund ihres Seins und ihrer Bewegung. Wie sie sich aber entwickelt hat, darüber wird nichts gelehrt. Insbesondere wird in der Frage des Mosaischen Schöpfungsberichtes, der sich vorzugsweise oder fast allein auf die Erde als Wohnplatz des Menschen bezieht, einem weitherzigen Idealismus Raum gegeben, wenn der Exeget mit dem Wortsinne nicht auskommen zu können glaubt; ein Zusammentreffen der naturwissenschaftlichen Ergebnisse mit den geogonischen[2] Ansichten des Berichtes ist sehr willkommen[3]; aber die Theologie ist so wenig geneigt, die Geologie zu fesseln, als sie gesonnen ist, sich von ihr fesseln zu lassen. Alle Gesetze der Natur haben die Scholastiker des Mittelalters anerkannt; das dürftige empirische Material ließ sie in vielen physikalischen Fragen fehlgehen; aber ist man berechtigt, ihnen das vorzuwerfen? Einen Kant wird niemand darum tadeln, weil er in seiner

[1] *Κόσμος*, Welt; *γίγνεσθαι*, entstehen. [2] *Γῆ*, Erde.

[3] Es scheint auch in manchen Punkten sehr deutlich zu bestehen. Vgl. Jakob, Unsere Erde (2. Aufl.) Kap. 7 u. 8. Vgl. über alle einschlägigen apologetischen Fragen die Werke: Duilhé de St. Projet, Apologie des Christenthums auf dem Boden der empirischen Forschung. Deutsche Ausgabe von Braig. Freiburg, Herder. T. Pesch, Die großen Welträthsel. Ebenda. H. E. Plaßmann, Die Schule des hl. Thomas. Soest, Nasse, 1860–1862.

(nachher zu besprechenden) Kosmogonie die ihm unbekannten Gesetze der mechanischen Wärmelehre nicht berücksichtigt hat; man gönne den Geistern, die ein halbes Jahrtausend früher bewunderungswürdige Gedankenarbeit geleistet haben, dasselbe Recht.

Selbst der sogen. regressus in infinitum, die Rückwärtsverlängerung der Zeit, also des Bestehens der Materie, in eine unermeßliche Ewigkeit, ist von der Schule nicht unmittelbar verworfen worden; Thomas von Aquin bespricht diese Annahme und zeigt uns, daß auch sie den unbewegten Beweger, die unbedingte göttliche Ursache des bedingten materiellen Seins, durchaus nicht entbehrlich macht, daß sie ein solches absolutes, außerhalb der gewöhnlichen Kausalreihe stehendes Wesen vielmehr gebieterisch fordert.

Wie man sich nun die Entstehung der Welt im einzelnen zu denken habe, diese Frage wird je nach dem Stande des Wissens immer etwas verschieden beantwortet werden. Der Mosaische Bericht deutet gleich im Anfange einen formlosen chaotischen Urzustand an, und ein Rest dieser Erkenntnis, auch wohl als Resultat eigenen Denkens zu erklären, findet sich bei den ältesten griechischen Philosophen, auch bei Dichtern, wie z. B. Ovid.

Der erste, welcher die durch Coppernicus, Kepler und Newton erweiterten Kenntnisse der Menschheit über das Weltall einer umfassenden Weltbildungslehre zu Grunde legte, war der große deutsche Denker Immanuel Kant. Sechsunddreißig Jahre, ehe er durch seine „Kritik der reinen Vernunft" den modernen, einer wirklichen Metaphysik abholden Empirismus begründete, ohne doch, wie die Entwicklung der deutschen Philosophie bald darauf lehrte, den tiefbegründeten spekulativen Trieb der menschlichen Seele lahmlegen zu können, sechsunddreißig Jahre früher erschien sein kosmogonisches Werk[1], das, anfangs infolge widriger Umstände nicht recht beachtet, lange nachher durch A. v. Humboldt neu entdeckt werden mußte. Seitdem ist es die

[1] Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt. Königsberg u. Leipzig 1755. — Von neuern Ausgaben erwähnen wir die vorzügliche und ganz wohlfeile Kehrbachsche (Leipzig, Reclam). Wir entlehnen ihr die Mitteilung, daß während des Druckes das Warenlager des fallierten Verlegers Petersen versiegelt wurde und so das Werk nicht auf die Leipziger Messe kam. Auch der geistreiche König, dem die Schrift gewidmet war, hat sie nie zu sehen bekommen, und vielleicht ist ihr dadurch ein herbes Urteil erspart worden, da Friedrich II. über die deutsche Litteratur etwas unfreundlich dachte. Das Titelblatt nennt den Verfasser nicht, und auch die Widmung ist nur „Ew. Königlichen Majestät allerunterthänigster Knecht, der Verfasser" unterzeichnet, läßt ihn jedoch als einen Königsberger Professor erkennen. Im Jahre 1761 veröffentlichte Lambert in seinen „Kosmologischen Briefen" einzelne Ansichten, die den Kantischen nahe kamen, und zwar im besten Glauben; die „Allgemeine Naturgeschichte" war selbst den Kreisen, die sie zunächst anging, nicht bekannt geworden.

Grundlage der neuern Nebularhypothese geblieben; und es ist nicht zu bezweifeln, daß manche Naturforscher, die wenig Zeit gehabt haben, sich in der Philosophie anderweitig umzusehen, ihre Verehrung des Kosmogoniters Kant in erklärlichster Weise auf den Philosophen übertragen und den Kriticismus für das einzige haltbare System ansehen.

Im ersten Teile der „Allgemeinen Naturgeschichte" behandelte Kant den Aufbau des Weltalls und der Milchstraße unter Wiedergabe älterer Ansichten von Th. Wright (1750); im zweiten die Entstehung des Sonnensystems. Die ursprünglich im Raume zerstreute Materie formte sich später zu Massen, die jetzt die Sonne und die Planeten bilden. Die Bewegungen werden erklärt durch Newtons Anziehungsgesetz sowie durch eine nur in kleinen Entfernungen und bei starker Zerteilung auftretende Abstoßungs- (Repulsions-)kraft. Man stelle sich die Sonne als eine linsenförmige Nebelmasse mit centraler Verdichtung, als einen Nebelstern vor. Die zum Attraktionscentrum sinkenden Massen erleiden Ablenkungen durch die Repulsivkraft; hierdurch entstehen Wirbelbewegungen, und es bilden sich außer der sehr großen Sonne, die die Hauptmasse des ursprünglich weit zerstreuten Nebels ausmacht, noch andere Vereinigungsgebiete, und zwar im allgemeinen desto dichtere Massenansammlungen, je näher man der Sonne kommt. So erklärt sich die verschiedene Dichte der (damals bekannten) sechs Planeten ☿, ♀, ♁, ♂, ♃, ♄. Die Anziehungscentra sollen sich, wenn man Kant recht versteht, durch eine gewisse chemische Differentiierung der Masse herausgebildet haben. Im allgemeinen werden die Planeten mit wachsendem Sonnenabstande größer und massenhafter, wenn auch lockerer; indessen hat die übermäßige Anziehung des ♃ den ♄ und ♂, die der ♀ und ☉ den ☿ relativ klein ausfallen lassen.

Das wichtigste an der Kantischen Lehre ist die Erkenntnis, daß die geringen Excentricitäten der Planeten und ihre geringen Neigungen gegen den ☉-Äquator [1] wie auch die im ganzen geringen Neigungen der Satellitenbahnen und endlich die geringen Bahnexcentricitäten einen gemeinsamen Grund haben müssen. Dieser Grund wird in einer ehemaligen Zusammengehörigkeit der heutzutage so weit auseinanderliegenden Massen gesucht. Die Planeten ♅ und ♆ und ihre Trabanten mit den stark geneigten Bahnen waren damals noch nicht bekannt, auch nicht die kleinen Planeten mit ihren großen Neigungen und Excentricitäten. Kant versuchte sich auch an dem Ringe

[1] Für die Ebene des Sonnenäquators kann man (vgl. S. 334 ff.) die Neigung gegen die Ekliptikalebene und den aufsteigenden Knoten auf dieser so gut aus den Beobachtungen ableiten wie für die Bahnebenen der Planeten ☿, ♀, ♂, ♃, ♄ u. s. w. Die Neigung einer solchen Bahnebene gegen die Ebene des solaren Äquators läßt sich dann in leicht ersichtlicher Weise nach den Formeln der sphärischen Trigonometrie berechnen.

des ♄, worin er ein Konglomerat aus wässerigen Dünsten zu sehen geneigt war, und ein kühner Gedankenflug brachte ihn darauf, auch der ♁ in ältern Zeiten einen solchen Ring der Möglichkeit nach zuzuschreiben, den er dann mit den Mosaischen Berichten über die Wasser der Feste und über die Sündflut zusammenzureimen versuchte.

Ein Fehler war es, daß durch seitliche Stöße und chemische Differenzen die Rotations- und Umlaufsbewegungen herauskommen sollten. Man hat später erkannt, daß die Summe der Rotationsmomente in einem System durch Wechselwirkungen nicht vermehrt werden kann, daß also eine ursprüngliche Rotation des Ganzen angenommen werden muß. Dagegen war es ein kühner und nicht ganz unrichtiger Gedanke, mit dem Hinweise auf die wahrscheinliche Linsengestalt des Milchstraßensystems den Gedanken einer ähnlichen Struktur wie beim Sonnensystem zu verbinden. Kant war auch zuversichtlich genug, die damals noch nicht bekannten Eigenbewegungen der Fixsterne als eine später zu gewinnende Wahrheit in ähnlicher Weise anzukündigen wie Coppernicus die Parallaxen; aber seine Annahme, daß die Eigenbewegungen dem galaktischen Äquator parallel gingen, hat sich nicht bestätigt; allerdings darf man gerade in diesem Punkte die Akten noch nicht für geschlossen erklären (vgl. S. 492).

In ähnlicher Weise wie die Hauptplaneten aus der Hauptmasse bildeten sich nach Kant die Monde aus den kleinern planetarischen Massen durch örtliche Verdichtungen. Dagegen hat man mit Recht eingewandt, daß bei solcher Entstehung die Monde rückläufig sein würden. Bewegt sich nämlich zuerst eine Masse A in dem gewöhnlichen Sinne um die centrale Verdichtung, und spaltet sie sich durch die chemischen und repulsiven Vorgänge später in zwei Massen B und C, die einander noch immer anziehen, ist ferner C näher beim Centrum als B, so wird C nach dem dritten Keplerschen Gesetze eine größere mittlere Bewegung als B haben, sich also seitlich gegen B verschieben, und diese Verschiebung setzt sich mit der Anziehung zu einem offenbar retrograden Umlaufe zusammen.

Die Kometen sind nach Kant in sehr großem Sonnenabstande aus sehr verdünnter Materie entstanden, und zwar in allen Gegenden des Himmels. Daraus erklären sich die großen durchschnittlichen Neigungen und aus dem nur wenig schiefen Fall gegen die ☉ die großen Excentricitäten. Auch ♄ soll ursprünglich kometenähnlich gewesen sein.

* * *

Der große französische Analytiker Laplace geht (1796, 1808—1836) in seiner Exposition du Système du monde von einem sich weit über die Grenzen des jetzigen Sonnensystems hinaus erstreckenden Ellipsoide mit höchstens $^1/_3$ Abplattung aus. Diese Masse rotierte als Ganzes aus irgend

einem Grunde; und da haben wir den wesentlichsten Unterschied gegen die Kantische Lehre, die ja eine Sonderbewegung einzelner sich herausbildender Massen nach den Gesetzen von Kepler und Newton annimmt. Laplace wußte, daß die Summe der Rotationsbewegungen in einem System keiner Vermehrung, aber auch keiner Verminderung fähig ist; indem sich sein Gasellipsoid immer mehr durch Abkühlung zusammenzieht, muß es immer schneller rotieren[1], und so überwiegt am Ende in den äußersten Gebieten die Centrifugalkraft die Anziehung der innern Masse: ein Ring schnürt sich ab, wie das später Plateau experimentell erläuterte (vgl. S. 146). Durch die Centrifugalkraft noch weiter gezerrt, zerreißt der Ring in Stücke von verschiedener Größe; das größte sammelt die übrigen[2] zu einem kleinen Gasballe, der offenbar eine Rotation im Sinne des großen hat, weil ja der Ring in allen Teilen außen die größte lineare Geschwindigkeit besaß. So kann sich bei diesem Balle dasselbe Spiel wiederholen: auch er wird einen Ring, vielleicht mehrere der Reihe nach abschnüren, und die Entstehung von Systemen mit vielen Rotationen und Umläufen, die nahezu alle in einer Richtung vollzogen werden, ist selbstverständlich. Das bezeichnet einen wesentlichen Vorteil gegenüber der Kantischen Annahme.

Ring auf Ring schnürte sich ab im Sinne der Lehre von Laplace, und zuletzt blieb nur die Sonne, nämlich der Rest der Hauptmasse, übrig. Die vielen seit Laplace neuentdeckten Planeten bestätigen im allgemeinen seine Annahme: sind auch ihre Neigungen und Excentricitäten wesentlich größer als die der alten Wandelsterne, so ist doch die Beziehung zum Sonnenäquator im ganzen gewahrt. Dagegen scheinen die rückläufigen Bewegungen der Monde des ♅ und ♆ der Hypothese zu widersprechen. Indessen hat man, glauben wir, darum noch nicht nötig, sie aufzugeben. Äußere Störungen mögen in diesen entlegensten Gebieten unseres Systems die Laufrichtung geändert haben; man beachte, daß mit einem völlig regelmäßigen Anfangssystem gar nicht auszukommen ist, denn in einem solchen müssen z. B. die abgeschnürten Ringe in unzählig viele Stückchen zerfallen, von denen keines dem andern überlegen ist. — Die Kometen sind bei Laplace Eindringlinge, während sie bei Kant ursprünglich schon zum System gehörten.

An dem weitern Ausbauen der Nebelhypothese haben mehrere Forscher mitgewirkt. Helmholtz wies als Quelle der Sonnenwärme die säkulare Zusammenziehung nach (vgl. S. 311). Die Wärme ist nichts anderes als

---

[1] Gleich der erkaltenden Erde. Vgl. S. 366.

[2] Es muß sie sammeln. Die einzelnen Teile laufen nach Keplers Gesetzen vielleicht in kreisähnlichen Bahnen um die Hauptmasse. Die Umlaufszeiten sind aber verschieden, weil das größte Stück die größte Gegenwirkung auf die Hauptmasse ausübt und darum schneller läuft (vgl. S. 225 ff.). So holt es die kleinen Stücke nach und nach ein.

Molekularbewegung, Erschütterung kleinster Teilchen, eine Umwandlungsform großer Massenbewegungen. Das sind eben die Anziehungsbewegungen, wodurch sich die einzelnen Teilchen der Materie in früherer Zeit nach und nach zu der großen Masse zusammengefunden haben, deren hoher Wärmezustand durch die hierbei stattfindenden Zusammenstöße erklärt wird. Auch die Rotation stellt sich als logische Notwendigkeit heraus; denn man hat keine Veranlassung zu der Annahme, die Teilchen seien alle geradeswegs auf ein Centrum losgestürzt. Und ähnlich erklären sich, wie vorhin angedeutet, die rückläufigen Bewegungen in den Systemen des ♅ und des ♆.

Durch scharfsinnige Betrachtungen, denen hier nachzugehen uns die Grenzen des Buches verbieten, kam Helmholtz zu Schlüssen über die Dauer des Bestehens der Sonnenwärme. Danach scheint unser Centralkörper nicht viel länger als 20 Millionen Jahre Wärme in dem jetzigen Maße abgeben zu können. Eine lange Frist, der gegenüber nicht nur das Menschenleben, sondern die ganze bisherige Geschichte des Menschengeschlechtes als flüchtiger Moment verschwindet! Dennoch ist sie einzelnen Geologen, und erst recht einzelnen Biologen, viel zu kurz. Man hat für die Bildung der Erdkruste und, im Sinne der Descendenzlehre, für die Entstehung der Arten längere Zeiträume gefordert. Der Physiker kann hier nur mit Achselzucken erklären, daß Hypothesen, die nicht mit seinen wohlbegründeten Zahlen stimmen, einer erneuten Durchsicht bedürftig sind [1].

Von den weitern Einwendungen, die man gegen die Kosmogonie von Laplace erhoben hat, sollen die wichtigsten hier angedeutet werden. Die Bildung der Planeten aus Ringen soll unmöglich gewesen sein. Die Zusammenziehung des ursprünglichen Gasballes muß nämlich, wie die Mechanik zeigt, die Rotationsgeschwindigkeit im quadratischen Verhältnisse der Abnahme des Radius beschleunigen. Giebt man nun dem zuerst abgeschnürten Ringe, woraus sich ♆ gebildet hat, die Rotationszeit von 165^{a}, die etwa gleich der jetzigen Umlaufszeit jenes äußersten bekannten Wandelsternes ist, so hatte der ganze Ball damals diese Rotationszeit. Nach weiterer Zusammenziehung schnürten sich der Reihe nach ♅, ♄, ♃ u. s. w. ab, und man müßte die wohlbekannten Umlaufszeiten dieser Planeten auch als Rechnungsergebnisse erhalten; die Rechnung auf Grund der Kontraktionstheorie ergiebt aber für die Sphäre des ♅ 67^{a}, für ♄ $16^{a},7$, ♃ $4^{a},94$, wenn man 165^{a} für ♆ zu Grunde legt; für die Periode der Sonnenrotation erhält man gar $0^{d},0014$ oder etwa 2^{m}; also alles, namentlich das letzte, in auffallendem Widerspruche mit den Beobachtungen. Der Einwand ist schon von Laplace

[1] Gewiß ist auch die Richtigkeit der Nebelhypothese noch nicht streng bewiesen; ihre Wahrscheinlichkeit in den Hauptzügen ist aber weit größer als die der geologischen Zeitberechnungen und der Heraldik der Biologen.

in dem Sinne beantwortet worden, daß gleich anfangs ein Verdichtungskern bestand, also die Reibung von außen nach innen zunahm. So werden die zu großen Geschwindigkeiten vernichtet. Überhaupt aber ist es klar, daß Massenteile, die sich von dem Ganzen oder von ihrer Umgebung der Dichte nach nur wenig unterschieden, die Rotation mitmachen mußten. Dichtere emancipierten sich und liefen nach Keplers Gesetzen um. Hierbei bildete sich für die jeweiligen äußersten Teile jedenfalls bald ein Dauerzustand heraus, während die alte Rotationsbewegung mit der neuen Umlaufsbewegung kämpfte; ein tiefes Eindringen in die schwere Hauptmasse war unmöglich, die Umlaufsbewegung kam desto mehr zur Geltung, je selbständiger sich der Körper machte. Dieser Kompromiß zwischen Rotation und Revolution kann noch ein paar andere Einwände erklären.

Fayes Behauptung, die Planeten müßten auch nach der Hypothese von Laplace, nicht nur nach der von Kant, rückläufig rotieren, ist gleichfalls widerlegt worden. C. Wolf weist darauf hin, daß eine anfangs rückläufige Rotation durch die Gezeitenwirkung des Centralkörpers rechtläufig gemacht werden mußte[1]. Es ist merkwürdig, daß ♅ und ♆, auf denen die Gezeitenwirkung sehr schwach war, auch jetzt noch rückläufig zu rotieren scheinen, wenn man aus dem Trabantenlaufe darauf schließen darf. — Schon Laplace ist jenem Einwande nach dem damaligen Stande des Wissens begegnet.

Nach einem weitern Einwande sollen die Entfernungen der Monde von den Hauptplaneten nicht ganz mit der Theorie stimmen; der ☾ ist von der ♁ weiter entfernt, als sie sich in ihrem Gaszustande erstreckt haben kann; umgekehrt ist Phobos dem ♂ zu nahe. Das ist jedoch durch solare Gezeitenreibung zu erklären, wenn man mit Roche annimmt, daß die Abschnürung des Satelliten erst dann anfing, als die Einzelnebel (Planeten) eine starke centrale Verdichtung erfahren hatten. Drehte sich unsere Erde früher in $27^{d},3$ um ihre Achse, so konnte sie sich, wie die Rechnung zeigt, nur auf $^3/_4$ des jetzigen Mondabstandes erstrecken. Der Mond hat sich aber vielleicht nicht aus einem Ringe gebildet, sondern aus dem einen Ende der stark verlängerten Hauptachse des Gezeitensphäroides, also des Sphäroides, in das die ♁ durch die Anziehung des centralen Kernes verwandelt wurde. Phobos dagegen bildete sich aus innern Ringen in der Masse, die später den ♂ bildete; er ist ziemlich neuen Ursprunges. Für ♄ zeigt Roche, und ähnlich schließt Hirn, daß innerhalb 2,44 Radien Abstand vom Centrum die Gezeiten mit einer Gleichgewichtsfigur unverträglich sind, also statt eines großen Satelliten nur viele kleine Körperchen auftreten können. In der That

[1] Vgl. über die Gezeitenwirkung S. 365 u. 368. Natürlich strebte der Kern die Rotationszeit des Planeten gleich der des Umlaufes zu machen, nicht nur richtungsgleich. War das aber geschehen, so verkürzte sich die Rotationszeit durch die Abkühlung des Planeten.

liegen die Ringe innerhalb jener Grenze. In ähnlicher Weise hat Kirkwood den Asteroidengürtel in Zonen zerlegt, deren Lücken die Stellen bedeuten, wo die Störungen durch ♃ wegen der Kommensurabilität der Umlaufszeiten zu groß ausfielen. Überhaupt scheint ♃ an jener Stelle die Bildung eines einzigen Planeten verhindert zu haben. So ist auch die Cassinische Teilung im Ringe des ♄ durch die Trabantenstörungen zu erklären.

Die nahezu rechtwinkelige Stellung der Trabanten des ♅ zur Hauptebene wollte Laplace durch Dichtigkeits- und Wärmeunterschiede erklären, Trowbridge durch rein mechanische Differenzen. Wie Leverrier und Tisserand gezeigt haben, streben die Störungen die Neigungen zu vergrößern, namentlich wenn ein kleiner Körper durch einen großen gestört wird, z. B. Pallas durch ♃. — M. Simon läßt die Ringe, aus deren Verdichtung sich die ♁ gebildet haben mag, durch die Anziehung der ⊙ immer steiler gerichtet werden, wodurch die große Schiefe des Äquators erklärlich wird. Für so entfernte Planeten wie ♅ und ♆ ist aber diese Annahme unzulässig. G. H. Darwin dagegen nimmt an, daß in einer zähen („viskosen") Masse dieselben Verhältnisse wie in einer gasigen herrschen; dann findet er, daß mit dem Wachsen des Äquatorialwulstes die Neigung zunimmt, und für die ♁ insbesondere, daß sie die jetzige Schiefe erhalten konnte, wenn sie sich bis zur Sphäre des ☾ ausdehnte. Für die obern Planeten, z. B. ♄, muß er die Anziehung der Satelliten zu Hilfe nehmen. Jedoch bleibt die ganze Neigung der Bahnebene des ☾ gegen die Ekliptik so unerklärt wie andererseits das Zusammenfallen der Bahnebenen einiger Monde des ♄ mit seiner Äquatorebene. Wolf hält alle Schwierigkeiten für genügend widerlegt bis auf zwei, die jeder Nebelhypothese anhaften: 1. wie sich aus den Ringen die großen Planeten bilden, und 2. wie die Neigungen der Planetenäquatoren und Satellitenbahnen gegen die Hauptebenen entstehen konnten.

Einigen der Weltbildungslehre von Laplace anhaftenden Mängeln suchte Faye zu begegnen. Warum nähern sich, so fragte er, im Gegensatze zu vielen Doppelsternbahnen die Bahnen unserer Planeten so sehr der Kreisgestalt? Unser Urnebel muß, zum Unterschiede von andern, anfangs homogen und mit schwacher Wirbelbewegung ausgestattet gewesen sein, während Laplace mit der centralen Verdichtung beginnt. Das erste Ergebnis einer schwachen Rotationsbewegung in der homogenen Gaskugel war die Bildung koncentrischer Ringe im Innern, die um ein leeres Centrum rotierten. Die Ringe mußten dann zerbrechen und die Trümmer vielleicht eine große Masse bilden, wie bei Laplace. Die andern Partikeln mit entweder sehr großen oder sehr kleinen Geschwindigkeiten beschreiben in der Ebene des Ringes mit dem Ringe koncentrische Ellipsen. Alles, was sich nicht zu regelmäßigen Ringen formt, geht zum Centrum und vermehrt dort die Masse. — Die innern Planeten

bis zum ♃ einschließlich wurden vor der Entstehung der ⊙ gebildet, als die Anziehung noch direkt proportional dem Abstande vom Mittelpunkte war [1]; daher sind ihre Trabanten rechtläufig geworden, weil die äußern Gebiete der Ringe schneller als die innern liefen, im Sinne von Laplace. Dagegen läßt Faye die äußersten Planeten erst entstanden sein, als mit der ⊙ ein mächtiges anziehendes Centrum und damit das Newtonsche Gesetz gegeben war. Wie man sieht, werden damit die Rückläufe in dem System der ♅ und ♆ erklärt; aber mit Recht ist gegen Faye eingewendet worden, daß damit die natürliche Einteilung der Planeten in zwei nach Größe und Dichte verschiedene, durch den Asteroidengürtel getrennte Gruppen beseitigt wird. Faye läßt, als das ♅-System entstand, die beiden Gesetze noch miteinander ringen und als Kompromiß die steilen Bahnen herauskommen, während beim ♆ der Sieg des Newtonschen Gesetzes bereits entschieden war. Die Anwendung auf ♄ ist leicht. Die von einzelnen Geologen und Biologen geforderten langen Zeiträume will Faye wie folgt retten. Die ♁ entstand vor der ⊙, und ihre Eigenwärme bei sehr dünner Kruste hat die üppige Vegetation der Sekundärzeit getrieben. Damit sind freilich, wie Wolf meint, doch nur 20 bis 30 Millionen Jahre zu retten, womit jene Naturforscher nicht zufrieden sind. Es mag noch betont werden, daß der Mosaische Schöpfungsbericht mit Fayes Vermutung gut zu reimen ist, da nach ihm erst am vierten „Tage" die Sonne an den Himmel trat; da dasselbe jedoch auch von den Sternen erzählt wird, so kann man nicht sagen, diese Vermutung deute die Heilige Schrift besser als die andere, daß nur das Sichtbarwerden der Himmelskörper für den Menschen gemeint sei, die Folge der fortschreitenden Verflüssigung der Dampf- und Wolkenhülle.

In den Sternhaufen und Nebelflecken kann man für die stellare Entwicklung zahlreiche Beispiele und für den einen oder andern kosmogonischen Gedanken Belege finden. Das spiralige Gefüge, wie es uns in den Nebeln im Orion, in der Andromeda und den Jagdhunden begegnet, scheint dem Wechselspiel von Umlaufsbewegungen und Verdichtungen mit einer durch eine gewisse, obschon äußerst geringfügige, Starre eingelegten Rotation zu entspringen, wie sich das z. B. auch an Wasserschaum bei Wirbelbewegungen zeigt [2]. Man darf aber nie vergessen, um welch ungeheure Ausdehnungen und Zeiträume und um eine wie fein zerteilte Materie es sich im Weltall handelt.

Norman Lockyer läßt alle Himmelskörper aus Meteoren entstehen, die sich in festem oder gasigem Zustande zusammenfinden; er teilt sie genetisch in sieben Gruppen. Die 1. Gruppe giebt Spektra mit hellen Linien oder Banden. Dahin gehören die Kometen und Nebel sowie Sterne vom Typus

[1] Das ist sie in einer homogenen Masse immer; vgl. S. 242 ff.

[2] Durch Umrühren von Bier, das mit einer dünnen Schaumlage bedeckt ist, entstehen Wirbel in leicht erklärlicher Weise.

γ Cassiopeiae. Die hellen Linien sind Ergebnisse des durch die Zusammenstöße eingeleiteten Leuchtens. Allmählich zeigt sich Absorption, und die Spektra, in denen neben hellen Kohlenstoffbanden und auch wohl hellen Wasserstofflinien deutliche Absorptionsbanden auftreten, bilden die 2. Gruppe. Sie entspricht dem Typus III nach Secchi oder III a nach Vogel; solche Sterne also, wie etwa Mira, die nach der üblichen Annahme schon recht alt sind, befinden sich nach Lockyer gerade im Jugendzustande; die Verdichtung und Wärme haben etwas zugenommen. In der 3. Gruppe, die mit Secchis II. Typus (Vogel II a) im ganzen zusammenfällt, sind die Sterne noch verdichteter und heißer; die Spektra haben die bekannte Beschaffenheit. Noch stärkere Kontraktion und Erhitzung führt einen Himmelskörper der 4. Gruppe zu, die mit Sternen wie Wega dem I. Typus der andern Forscher entspricht. Nun läßt Lockyer die Wärme nicht mehr wachsen, vielmehr den Ausstrahlungsverlust größer sein als den gleichzeitig durch Zusammenstöße entstehenden Zuwachs: der Stern wird kälter, verdichtet sich jedoch fortgesetzt. So entsteht eine 5. Gruppe mit Linienabsorption bei fallender Temperatur; sie ist aber spektroskopisch von der 3. kaum zu trennen, während die 6. mit Secchis IV. Typus (Vogel III b) zusammenfällt und die 7. die nicht mehr leuchtenden, aber höchst verdichteten Körper umfaßt. Es wächst also die Temperatur bis zur 4. Gruppe, um dann zu fallen, während die Verdichtung beständig wächst. Lockyers Hypothese ist zweifellos noch nicht spruchreif; man hat mit Bedenken gegen sie nicht zurückgehalten. Es muß aber hervorgehoben werden, daß z. B. bei β Lyrae, wo sich bekanntlich helle Linien zeigen, eine äußerst geringe Dichte des ganzen Systems aus den Rechnungen von Myers (vgl. S. 540) hervorgeht. Bedenklich bleibt allerdings bei allen Rechnungen solcher Art die große Zahl der willkürlichen Konstanten. — Wenn Algol, der zum Syrius-Typus, also zu Lockyers 4. Gruppe gehört, nach den bekannten Untersuchungen (vgl. S. 536) auch noch etwas weniger dicht ist als die Sonne, so kann man diese vielleicht der 5. Gruppe zuweisen.

Die Entstehung der Planeten wird sich mit Lockyers Ansichten im ganzen so gut reimen lassen wie mit denen von Laplace.

* * *

„Hochherziger Tydide," so ließ in alter Zeit ein Sänger[1] den Helden Glaukos zum Diomedes sagen, „was fragst du nach meiner Abstammung? Wie Blätter ist das Menschengeschlecht: hier streut der Sturm die welken zur Erde, dort sprossen frische zur Frühlingszeit. So das Geschlecht der Männer: eines wächst, und das andere schwindet." Fast dreitausendmal ist seitdem das Laub im Walde gefallen, und alle, die es kommen und fallen sahen, sind ihm endlich gefolgt, mochten sie auch hundertmal das Frühjahr gesehen

[1] Homer, Il. 6, 145—148.

haben; in den Staub gesunken sind so manche Herrlichkeiten der vielen Menschengeschlechter, die goldene Rüstung, die der schlaue Grieche erhandelte, so gut wie die eherne, die er dem ehrlichen Feinde aufdrängte [1]. Kann das Menschenleben für lang gelten im Vergleich mit der Umlaufszeit der Erde, nach der sich die kurze Zeitspanne für Entstehung, Arbeitsleistung und Erschöpfung des Blattes richtet, so ist es nur allzu kurz, verglichen mit den Zeiträumen, die den kosmischen Bildungen beschieden sind. Aber auch diese vergehen schließlich wie das Blatt, wie der Blütenschnee unserer Obstbäume, wie das belebte Gebilde, das sich aus häßlichen, unscheinbaren Anfangsformen zur bunten Schönheit des Schmetterlings durchgerungen hat. Wie die Erde erkaltet ist aus einem Glutzustande, der ihr ermöglichte, die prächtige Vegetation der Steinkohlenwälder aus Eigenem zu bestreiten, so wird auch die Sonne, jetzt unsere Licht- und Lebensspenderin, nach vielen Jahrmillionen als dunkler Körper durch die öden Gefilde des Raumes irren, vielleicht um gelegentlich mit einer andern Masse von ähnlicher Beschaffenheit oder mit einem mächtigen Meteoritenschwarme zur Bildung einer neuen Welt zusammenzutreffen. Überall sind die Formen der Materie bedingt und vergänglich, und gerade die strengen Gesetze, wonach sie wechseln müssen, deuten auf ein Höheres, das ihnen den Wandel vorgeschrieben hat, das in starker Hand alle Wesen erhält und trägt. Es ist dasselbe höchste Wesen, dessen Stimme laut und vernehmlich in der Brust des Menschen ertönt, dieses Eintagsgeschöpfes, das von einem der kleinsten Himmelskörper ein kleines Fleckchen während einer kosmisch unmeßbaren Zeit bewohnt, das aber in Wahrheit höher steht als die wundervollsten und beständigsten rein materiellen Gebilde, als Milchstraßen und Weltinseln. Durch seine Erkenntnis der Gesetze, die das All regieren, durch sein sittliches Bewußtsein und seine Unsterblichkeit ist der Mensch unendlich wertvoller als die Materie. Und so führt uns die Betrachtung des Weltalls zurück zu dem eigenen Ich, wovon wir ausgegangen sind, und weiter zu der ewigen, unbedingten Ursache dieser vergänglichen Welten — zu Gott.

Achtunddreißigstes Kapitel.

Das Fernrohr, die Meßwerkzeuge und die Uhr. — Die Sternwarte.

Winkel- und Zeitgrößen sind zunächst das einzige, was am Himmel gemessen werden kann. Das Altertum mußte sich vollständig auf diese Größen beschränken; die Neuzeit hat durch die Vervollkommnung der mechanischen und chemischen Technik wie auch der theoretischen und angewandten Optik die Möglichkeit gewonnen, beide Größenarten weit genauer zu messen, und zwar die Winkelgrößen teils durch mikroskopisches Ablesen, teils durch mikrometrische Verwandlung in lineare Größen. Auch die Messungen der cölestischen Photographie, der Spektroskopie und

[1] Homer, Il. 6, 234—236.

Spektrographie und vielfach auch der Photometrie beruhen auf der Verwandlung von Winkelgrößen in Strecken, während die elektrische Registrierung Zeitgrößen in Strecken umsetzt.

Das Werkzeug, welches gegenwärtig fast bei allen Messungen des Astronomen auftritt, ist das Fernrohr, der Tubus oder das Teleskop[1], dessen vergrößernde Kraft unsere Kenntnisse vom Weltall in einer Weise vermehrt hat, wovon das Altertum keine Ahnung haben konnte.

Das teleskopische Sehen beruht, wie das natürliche, auf den Gesetzen der optischen Abbildung. Gehen viele gleichartige Strahlen von einem Punkte aus, oder liegen sie auch nur so, daß ihre Verlängerungen durch einen Punkt gehen, so werden sie, wie eine einfache geometrische Betrachtung zeigt, in der kugelförmigen Begrenzungsfläche zweier durchsichtigen Medien so gebrochen, daß die geänderten Richtungen wieder durch einen Punkt gehen. Dieser wichtige Satz[2] gilt jedoch nur unter einer Beschränkung. Nennt man optische Achse die Gerade, welche den Ausgangspunkt der Strahlen mit dem Kugelcentrum verbindet, so dürfen 1. die Strahlen selbst und 2. auch die Einfallslote mit der Achse nur so kleine Winkel bilden, daß man berechtigt ist, den sin mit dem arc zu vertauschen, woraus dann sofort folgt, daß der cos der Einheit gleich gesetzt und auch die tan mit dem sin oder arc vertauscht werden darf. Das trifft in aller Schärfe immer nur für einen einzigen Strahl zu, den Centralstrahl, für den beide Winkel verschwinden, angenähert jedoch für ein ziemlich starkes Bündel von Strahlen. Es gehört also zu jedem leuchtenden Punkte ein Bildpunkt, und zu einem ganzen System von leuchtenden Punkten, d. h. zu einem leuchtenden Gegenstande, gehört ein System von Bildpunkten, ein Bild des Gegenstandes.

Ein Beispiel für die Brechung durch eine einzige Kugelfläche liefern uns die kugeligen Briefbeschwerer aus massivem oder wassergefülltem Glase, die im Innern ein Landschaftsbild enthalten. Die zerstreute Reflexion an dessen Flächen gestattet uns, das Gemälde als ein selbstleuchtendes Objekt anzusehen, unbeschadet der Frage, wie das Licht in die Masse eingedrungen ist. Wir sehen von dem Objekte ein vergrößertes und abgerücktes, im übrigen aber ganz treues Bild; für jeden leuchtenden Punkt, etwa für jede Baumspitze, sind also die beim Übergang aus dem Glase oder Wasser in die Luft gebrochenen Strahlen wieder zu einem Bündel vereinigt worden, das aus einem Bildpunkte zu kommen scheint. Nur wo die vorhin gekennzeichneten Winkel zu groß ausfallen, nimmt man eine Verzerrung wahr, die sphärische Aberration. — Auch die als Kinderspiel dienenden Glaskugeln (Knicker, Schusser) zeigen die Abbildungsgesetze. Wird der Radius der Grenzfläche unendlich groß, dann hat man die Abbildung durch eine ebene Fläche. So können die Kiesel auf dem Grunde eines Teiches für selbstleuchtende Körper gelten: ihre Bilder erscheinen dem Außenstehenden gehoben. — Legt man einen sehr hellen Körper, etwa wieder einen

[1] Tubus, das Rohr; τηλεσκόπιον von τῆλε, fern, und σκοπεῖν, sehen; vgl. Telegraph, Telephon. — Nach dem bessern deutschen Sprachgebrauche hat ein Rohr geringe Wandstärke und große lichte Weite, z. B. ein Ofenrohr, während eine Röhre, wie die des Thermometers, im Vergleich zu ihrer geringen Weite starke Wände hat. Doch beginnt die Neutralform die weibliche zu verdrängen. Bei dem Worte Fernrohr ist jene die einzig richtige. Die Pluralform „Fernröhre" für „Fernrohre" ist zu mißbilligen.

[2] Vgl. Tressel, Physik. Eine ausführliche wissenschaftliche Theorie giebt Czapski in Winkelmanns Handbuch der Physik.

Kiesel, in eine wassergefüllte runde Karaffe, so zeigt sich das Bild manchmal deutlich von Farbensäumen umgeben. Das Abbildungsgesetz beruht nämlich auf dem für die Brechung gültigen Gesetze, daß der Sinus des Winkels, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslote macht, zu dem Sinus des entsprechenden Winkels für den gebrochenen Strahl in einem konstanten, nur von der Natur des Lichtes und der Medien abhangenden Verhältnisse steht [1]. Ändert man die Medien oder auch nur eines von ihnen, so ändert sich die Abbildung; so scheint eine 10 cm hohe Alkoholschicht die Gegenstände höher zu heben als eine ebenso hohe Schicht Wasser, aber nicht so hoch wie eine 10 cm dicke Glasplatte. Man kann aber auch die Natur des Lichtes ändern. Wie wir wissen, besteht das Tageslicht aus unzählig vielen Lichtarten. Die Koefficienten der Brechung von Wasser in Luft sind für alle diese Arten verschieden; der in der Flasche liegende Kiesel [2] sendet nun alle diese Strahlen aus, und für jeden entsteht ein besonderes Bild. Da sich die Bilder nicht ganz decken, so erscheint das weiße Bild mit Rändern umgeben; an der Seite, die dem minder brechbaren Gebiete entspricht, fällt uns das Gelb am meisten auf, da es für uns viel heller ist als das eigentlich die Grenze bildende Rot; an der andern Seite erscheint das Blau, während Violett wieder zu schwach ist. Diese Farbensäume lehren uns die *chromatische* [3] *Aberration* oder *Farbenabweichung* kennen.

In allen bis jetzt angedeuteten einfachen Fällen entstanden *virtuelle* (geometrische) Bilder, d. h. es wurden die von einem Punkte ausgegangenen Centralstrahlen so gebrochen, daß nicht sie selbst nachher wieder durch einen Punkt gingen, sondern ihre Verlängerungen nach rückwärts. Die Strahlen selbst bleiben divergent, und gerade darum scheinen sie z. B. wieder von einem Kiesel auszugehen, der sich an einer bestimmten Stelle im Wasser befindet. Man kann aber, wenn schon mittelbar, auch die wirkliche Wiedervereinigung oder die Entstehung eines *optischen* (physischen) Bildes wahrnehmen. Unter verschiedenen gläsernen Trinkgeräten werden wir bald solche herausfinden, wo im Innern des Wassers ein leuchtender Punkt zu stehen scheint, sobald das Gefäß in die Sonne gestellt wird. Dem geometrischen Bilde, das wir sehen, muß offenbar ein leuchtendes Objekt oder etwas dem Analoges im Innern des Wassers entsprechen. Wir müssen also annehmen, daß die aus der Luft in das Wasser dringenden Sonnenstrahlen durch die Brechung konvergent gemacht worden sind, daß sie sich in einem Punkte wirklich kreuzen und von hier aus wie von einem selbstleuchtenden Körper wieder divergieren. Von diesem verkleinerten physischen Sonnenbilde sieht der außenstehende Beobachter ein vergrößertes geometrisches Bild. Bei andern Gefäßen entsteht das physische Bild nicht im Wasser selbst, sondern es würde jenseits dessen Rückwand liegen; die zweite Brechung beim Austritte verändert die Strahlenrichtung wieder, und es entsteht außerhalb des Gefäßes ein physisches Bild, das unter Umständen feuergefährlich werden kann [4] wegen der Vereinigung so vieler Wärmestrahlen.

---

[1] In dem erwähnten geometrischen Beweise ersetzt man diese sin durch ihre arc.

[2] Die geringe Brechung durch das dünne Glas lassen wir außer acht. Beim Durchgange durch einen von zwei parallelen Ebenen begrenzten Körper, etwa eine Fensterscheibe, erfahren die Strahlen durch die zweimalige, im entgegengesetzten Sinne erfolgende Brechung nur eine Parallelverschiebung; ähnlich liegt die Sache für die Strahlen, die aus der Flasche treten, wenigstens für die dem Centralstrahl nähern.

[3] Von *χρῶμα*, die Farbe.

[4] An Laubblättern beobachtete Brandflecken hat man auf die strahlensammelnde Wirkung von Wassertropfen zurückgeführt.

Da überhaupt jedes Bild, auch ein geometrisches, wieder als Objekt gelten kann, so entstehen beim Durchgange durch mehrere brechende Kugelflächen immer neue Bilder, und das letzte Bild läßt sich nach bestimmten Gesetzen aus dem Objekte ableiten. Insbesondere werden durch Gläser, die von je zwei Kugelflächen begrenzt sind, Bilder erzeugt. Denkt man sich alle Teile der Fig. 190 durch eine horizontale Linie halbiert und dann die Figur um diese Linie gedreht, so wird aus a ein Körper, der wegen seiner Ähnlichkeit mit dem Samen der bekannten Hülsenfrucht eine Linse heißt. Der Einfachheit wegen nennt man aber auch die übrigen Körper Linsen und unterscheidet sie durch folgende leicht verständliche Bezeichnungen: a ist bikonvex, b plankonvex, c konkavkonvex [1], d bikonkav, e plankonkav, f konvexkonkav. Die Sammellinsen a, b, c können geometrische und optische Bilder erzeugen, die Zerstreuungslinsen d, e, f nur geometrische.

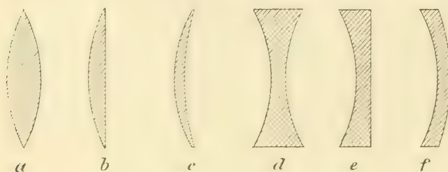


Fig. 190. Die sechs Linsenformen.

Die kugeligen Grenzflächen einer Linse haben eine gemeinsame Achse, ihre geometrische Centrale. Strahlen, die aus einem unendlich fernen Punkte, z. B. von einem Stern, parallel der Achse auffallen, haben zum Bildpunkte einen Punkt F_2 (Fig. 191), der als Brennpunkt oder Fokus bezeichnet wird. Für jede Linse kann man [2] einen optischen Mittelpunkt angeben, der auf der Achse liegt, und zwar bei bikonvexen Linsen zwischen den Grenzflächen. Von den durch diesen Punkt gehenden Strahlen kann man mit guter Näherung annehmen, daß sie durch die zweimalige Brechung wieder in die alte Bahn gelenkt werden. Hiernach ist es leicht, das Bild eines Gegenstandes zu konstruieren. Der Punkt G (Fig. 191) entsendet unter vielen andern Strahlen auch einen, der parallel zu der (gestrichelten) Achse geht. Dieser wird so gebrochen, daß er durch F_2 weiter geht. Der aus G durch den optischen Mittelpunkt gehende Strahl wird nicht gebrochen;

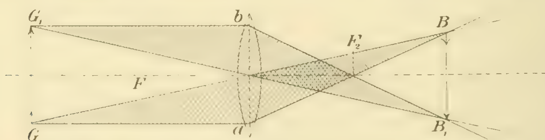


Fig. 191. Konstruktion des durch eine Sammellinse erzeugten Bildes.

wo er den durch F_2 gelenkten schneidet, da ist der Bildpunkt B von G, und durch diesen Punkt B müssen dem Abbildungsgesetze zufolge auch die übrigen von G ausgegangenen Strahlen ihre Wege nehmen. Ebenso ist B_1 das Bild von G_1 und der Pfeil BB_1 das optische, verkleinerte, umgekehrte Bild von GG_1. Die Entfernungen des Objektes, des Bildes und des Brennpunktes vom optischen Mittelpunkte heißen Gegenstandsweite, Bildweite und Brennweite. Bezeichnen wir diese

[1] Ein Glas wie b oder c heißt auch ein Meniscus oder Möndchen.

[2] Von der schärfern Theorie muß natürlich abgesehen werden. Vgl. die angeführten Bücher.

Strecken der Reihe nach mit g, b und f, so gilt nach den Sätzen der geometrischen Optik die Gleichung

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f},$$

die $b = f$ für $g = \infty$, $b = \infty$ für $g = f$ u. s. w. ergiebt. Ist $g > f$, so ist $b > 0$, und man erhält ein optisches Bild; für $g < f$ wird $b < 0$, und es entsteht ein aufrechtes virtuelles Bild. Das optische Bild liegt mit dem Objekte auf verschiedenen Seiten der Linse, das virtuelle auf derselben Seite. Wie in Fig. 191, so verhalten sich immer zufolge der Ähnlichkeit der Dreiecke die Größen β und γ des Bildes und des Objektes wie ihre Abstände von der Linse. Diese Proportion $\beta : \gamma = b : g$ erhält, wenn die Größe γ durch das Produkt des Winkeldurchmessers δ des Objektes mit seiner Entfernung g ersetzt wird, die Gestalt $\beta : \delta g = b : g$, also $\beta = \delta b$. Das gilt auch noch für $g = \infty$, d. h. für die Himmelskörper, verglichen mit den Linsendimensionen. Hier wird nun $b = f$, man erhält also $\beta = \delta f$. Die Größe des Brennpunktbildes von einem Himmelskörper ist also gleich dem Produkte seines Winkeldurchmessers in die Brennweite; der Durchmesser δ ist hier offenbar in absolutem Maße (vgl. S. 29) zu messen. Von dem Monde in mittlerer Entfernung, dessen Durchmesser $31' 5'',8 = 1865'',8$ beträgt, entsteht also z. B. im Fokus einer Linse von 2 m Brennweite ein kreisförmiges optisches Bildchen, dessen Durchmesser gleich $\frac{1865{,}8 \cdot 2000}{206\,265}$ mm $= 18{,}09$ mm ist.

Setzt man den Brechungskoefficienten gleich -1, so gehen die Formeln für die Brechung an kugelförmigen Flächen in die für die Zurückwerfung an solchen Flächen über. Auch hier entsteht unter derselben einschränkenden Voraussetzung ein Bild des Gegenstandes. Ein solches ist im allgemeinen keine einfache Abbildung des Objektes, vielmehr werden entweder nur oben und unten oder nur rechts und links vertauscht. Die durch den leuchtenden Punkt und das Centrum der spiegelnden Kugelfläche gelegte Linie heißt die Achse des Spiegels; sie trifft die Fläche im Scheitel. Ein Hohlspiegel ist der Regel nach eine Kugelkappe, deren mittelster, von allen Punkten des Randes gleichweit abstehender Punkt der wichtigste Scheitelpunkt ist. Rechnet man wieder als Brennpunkt den Punkt der Achse, in welchem sich die zu ihr parallel auffallenden Strahlen vereinigen, und rechnet man Brennweite, Bildweite und Objektsweite von dem zugehörigen Scheitel aus, so gilt wieder die Beziehung $\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f}$, und es ist $f = \frac{1}{2} r$, wenn r der Kugelradius ist. Auch ist wieder $\beta = \delta f$.

Die genauere Rechnung zeigt, daß die von bestimmten Punkten ausgehenden Strahlen durch Brechung oder Zurückwerfung an bestimmten Flächen ganz streng, und nicht nur ungefähr, in einem Punkt vereinigt werden. Dreht man eine Ellipse um ihre große Achse, so entsteht ein verlängertes Rotationsellipsoid; ist dessen Innenseite spiegelnd, so lehrt die bekannte Konstruktion der Ellipsen-Normale, daß jeder aus dem einen Brennpunkte kommende Strahl nach der Reflexion durch den andern Brennpunkt gehen muß. Hieraus erklärt sich der Name Brennpunkte für jene Stellen. Wird die Ellipse zur Parabel, so liegt der eine Brennpunkt im Unendlichen, und sein Bildpunkt ist der Punkt, den man bei der Parabel geometrisch auch als Brennpunkt zu bezeichnen pflegt. Für den sphärischen Hohlspiegel (Fig. 192) läßt sich leicht nachweisen, daß bei kleinen Einfallswinkeln die parallel der gestrichelten Achse auffallenden Strahlen nach der Reflexion diese Achse nahezu in einem Punkte F schneiden, der halbwegs zwischen Centrum und Scheitel liegt; also ist $f = \frac{1}{2} r$, wie

vorhin angegeben. Die Hohlspiegel sind Sammelspiegel, sie können gleich den Sammellinsen optische und geometrische Bilder liefern, während die konvexen Spiegel oder Zerstreuungsspiegel nur geometrische Bilder erzeugen.

Während die sphärischen Spiegel gleich den Linsen die sphärische Aberration zeigen, sind sie frei von der Farbenabweichung, weil das Reflexionsgesetz gleichmäßig für alle Strahlengattungen zutrifft.

* * *

Schaltet man mehr als zwei lichtbrechende kugelige Flächen so hintereinander, daß alle Centra auf derselben Achse liegen, so hat man ein centriertes optisches System. Ein sehr vollkommenes System dieser Art ist der menschliche Augapfel; durch die Brechung an den Grenzflächen der verschiedenen Mittel: Luft, Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper, entsteht von jedem Gegenstande ein Bildchen auf der von der Netzhaut gebildeten Rückwand des Glaskörpers, und die willkürliche Veränderung der Linsengestalt ermöglicht es uns, die konstante Bildweite an die verschiedensten Gegenstandsweiten anzupassen oder zu accommodieren.

Die Unmöglichkeit der Überschreitung bestimmter Accomodationsgrenzen hat schon in ziemlich alter Zeit zur künstlichen Erweiterung des vom Augapfel gebildeten Systems durch Brillen[1] geführt. Bereits Nero soll beim Betrachten der Cirkusspiele seiner Kurzsichtigkeit durch einen konkav geschliffenen Smaragdstein abgeholfen, also die menschlichen und tierischen Opfer seines Aberwitzes im eigentlichen Sinne belorgnettiert haben[2]. Ein plankonvex geschliffener Bergkrystall von 1,6 engl. Zoll (4 cm) Durchmesser und 4,5 Zoll (11 cm) Brennweite, welcher in der im Jahre 605 v. Chr. zerstörten Stadt Niniveh gefunden worden ist, darf wohl als Arbeitslupe gedeutet werden. Jedenfalls blieben solche Vorrichtungen vereinzelt; erst etwa seit 1300 n. Chr. werden die Konvergläser als Lesebrillen für alte Leute häufiger, im 16. Jahrhundert auch die Konkavbrillen.

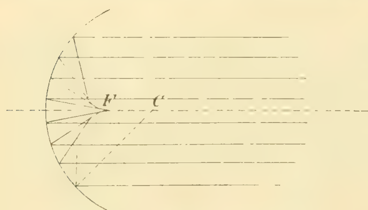


Fig. 192. Der sphärische Hohlspiegel.

Die Geschichte hat nicht genau festgestellt, wer zuerst den sinnreichen Einfall hatte, zwei Linsen auf derselben Achse zu befestigen und dadurch das Fernrohr und gleichzeitig das ihm nahe verwandte zusammengesetzte Mikroskop zu konstruieren. In der Sage, daß zuerst spielende Kinder zwei Linsen so zusammengestellt haben, daß sie den Hahn auf dem Turme vergrößert sahen, spricht sich die Anerkennung der Zufälligkeit dieser wichtigen Entdeckung aus. Sie fällt in die für die Himmelskunde so bedeutungsvollen ersten Jahre des 17. Jahrhunderts. — Vermutlich hat Johann Lippershey zu Middelburg das erste Fernrohr gebaut; er bot seine Erfindung, deren militärische Wichtigkeit er gut erkannte, im Jahre 1608 den General=

[1] Brille ist von Beryll oder von parilium, Doppelglas, abzuleiten.

[2] Nach anderer Auffassung war dieser Stein plan geschliffen, dämpfte also nur das grelle Licht des Cirkus für den schwachsichtigen Cäsar. Die erste verbürgte Nachricht vom Gebrauche einer Zerstreuungslinse scheint sich auf den Papst Leo X. (1475—1521) zu beziehen.

staaten an, die Verhandlungen über Leistung und Gegenleistung zogen sich aber hin, bis es für den Erfinder zu spät war: der Gedanke war schon in weitere Kreise gedrungen. — Das zusammengesetzte Mikroskop scheint bereits 1590 von Zacharias Janssen und seinem Vater Jans Zachariassen, gleichfalls in Middelburg, erfunden worden zu sein.

Schon im Jahre 1609 erfuhr Galilei über Paris etwas von der neuen Erfindung, und der scharfsinnige Mann ahmte sie sofort nach. Darum wird das Fernrohr ältester Art noch jetzt das Galileische oder holländische genannt. Es wendet dem Objekte ein konvexes Objektivglas oder Objektiv zu, in dessen Brennpunkte ein physisches Bild des Himmelskörpers entstehen würde, wenn man nicht die Strahlen innerhalb der Brennweite, also ehe sie sich kreuzen können, durch ein konkaves Okularglas oder Okular auffinge. Hierdurch werden sie divergent gemacht, und anstatt des physischen umgekehrten Bildes entsteht ein virtuelles aufrechtes zwischen Objektiv und Okular. Wie Fig. 193 zeigt, wo das Objekt in weiter Ferne links zu denken ist, darf das Okular nicht viel kleiner sein als das Objektiv, damit möglichst viele Strahlen von jenem aufgefangen werden. Nun ist die Vergrößerung gleich dem Verhältnisse der Brennweiten vom Objektiv und Okular; sie kann darum nicht weit getrieben werden. Die Rohrlänge ist ungefähr gleich der Differenz jener Brennweiten, also ziemlich klein. Damit ist dem holländischen Fernrohr seine Bestimmung gegeben: es dient als Feldstecher, Opernglas u. s. w. hauptsächlich dem irdischen Sehen in nicht zu großen Entfernungen. Daß es auch zum Beobachten der helleren veränderlichen Sterne geeignet ist, haben wir früher (S. 534) erfahren. Übrigens hat Galilei mit Fernrohren dieser Konstruktion die vier großen Jupitersmonde, die Phasen der Venus und die Sternfülle der Milchstraße entdeckt.

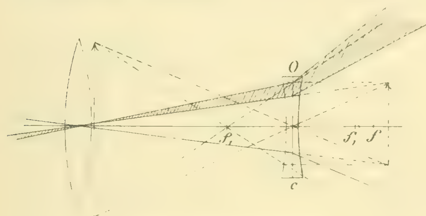


Fig. 193. Holländisches Fernrohr.

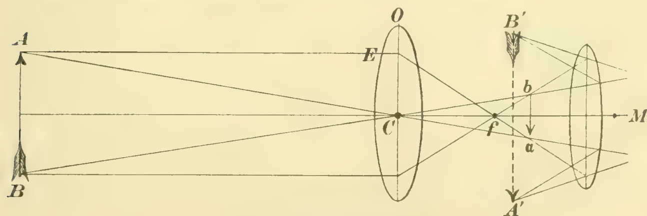


Fig. 194. Keplersches Fernrohr.

Während die Länge des holländischen Fernrohres etwa gleich der Differenz der Brennweiten von Objektiv und Okular ist, beträgt sie ungefähr deren Summe bei dem von Kepler theoretisch ersonnenen und um 1613 von Chr. Scheiner zuerst angefertigten astronomischen Fernrohre. Das Objekt AB (Fig. 194) erzeugt durch das Objektiv OC in der früher (S. 574) gezeigten Weise in ab ein verkleinertes, umgekehrtes Bild; ist AB unendlich fern, so entsteht das Bildchen im Brennpunkte f.

Dieser ist zugleich nahezu der Brennpunkt des rechts stehenden Okulars; der Beobachter M sieht dann nicht das physische Bildchen a b selbst, sondern dessen vergrößerte geometrische Abbildung A′ B′. Die Vergrößerung kann sehr weit getrieben werden; sie ist gleich dem Verhältnisse der Brennweiten von Objektiv und Okular. Ein großes, stark gewölbtes Objektiv hat kurze Brennweite und bietet geringe Vergrößerung bei bedeutender Lichtstärke und großem Gesichtsfelde; solche Objektive bringt man an leicht drehbaren kurzen Fernrohren, den Kometensuchern, an. Wieviel im übrigen von den durch ein großes Objektiv gesammelten Strahlen nutzbar gemacht, d. h. in die enge Pupille geleitet wird, das hängt von verschiedenen Umständen ab, die hier nicht erörtert werden können.

Daß das Keplersche Fernrohr gleich dem zusammengesetzten Mikroskope umgekehrte Bilder giebt, macht für den Astronomen, der ja doch infolge seiner Stellung auf der rotierenden Erdkugel immer mit Richtungsänderungen rechnen muß, wenig aus. Durch Einschaltung von zwei weitern Linsen, die das Bildchen abermals umkehren, schuf zuerst in den vierziger Jahren des 17. Jahrhunderts der Kapuziner Schyrlaeus (de Rheita) das Erdfernrohr. Wegen seiner großen Länge ist dieses zum Handgebrauche nicht bequem; einem um die Mitte des 19. Jahrhunderts von Porro ausgesprochenen Gedanken nachgehend, ersetzte neuestens C. P. Goerz in Schöneberg jene Umkehrung in einem Linsensystem durch zweimalige totale Reflexion an Triedern [1], d. h. gleichschenkligen und rechtwinkligen Prismen. Neben dem

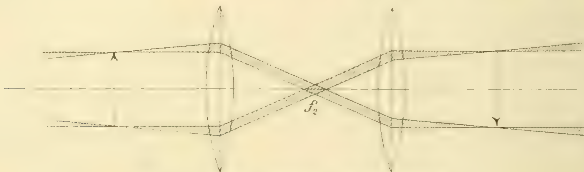


Fig. 195. Umkehrendes System des Erdfernrohres.

Vorteile eines geringern Lichtverlustes und kleinerer Aberrationen wird dadurch noch erreicht, daß das Rohr ganz kurz bleibt, wie das holländische; das Instrument kann also zweiläufig, als sogen. Trieder-Binocle gebaut werden, und dennoch bleiben alle Vorteile des Keplerschen Rohres gewahrt. — Das umkehrende System des Rheitaschen Erdfernrohres stellt Fig. 195 dar.

Ersetzt man die große, lichtsammelnde Objektivlinse des Keplerschen Fernrohres durch einen Hohlspiegel, so hat man zunächst mehrere offenkundige Vorteile. Ein großer Spiegel läßt sich im allgemeinen mit geringern Kosten herstellen als eine entsprechende Linse, und die chromatische Aberration fällt bei dem ersten Bilde vollständig weg. Dagegen hat man mit dem Nachteile zu rechnen, daß Bild und Objekt auf derselben Seite des Hohlspiegels liegen, eine Durchsicht nach dem Stern also anscheinend nicht möglich ist. Gregory brachte (1616) eine Konstruktion auf, wobei der Objektiv-Hohlspiegel im Scheitel eine kreisförmige Ausbohrung hat; hierdurch wird erreicht, daß ein zweiter, in der Achse des ersten aufgestellter Spiegel das erste Bild in ein zweites verwandelt, welches der Beobachter durch die Öffnung sehen kann. Cassegrain ersetzte im Jahre 1672 diesen zweiten Hohlspiegel durch einen konvexen; dann führte Newton dafür einen Planspiegel ein, der, innerhalb der Brennweite des Objektivspiegels liegend und um 45° gegen dessen Achse geneigt, anstatt des eigentlichen physischen Bildes ein ihm gleiches geometrisches entwarf, das durch ein seitliches

[1] Dreisilbig, die zweite Silbe betont; τρίς, ἕδρα.

Rohr betrachtet werden konnte. Alle diese Anordnungen verderben mehr oder weniger die auf den Objektivspiegel fallenden Centralstrahlen, wie wir wissen, gerade die wirksamsten. Es war darum ein richtiger Gedanke von W. Herschel, durch die in Fig. 196 gekennzeichnete Konstruktion die zweite Zurückwerfung zu vermeiden und zugleich die Centralstrahlen zu ihrem Rechte kommen zu lassen. Der Spiegel ist gegen das Rohr etwas geneigt, und es erzeugen die in B, A, C einfallenden und bei α reflektierten Strahlen seitwärts vom Rohre ein physisches Bild, welches durch die Okularlinse O vergrößert wird. Daß dieses ein Spiegelbild ist, macht für den Gebrauch weniger Unbequemlichkeit als das seitliche Einblicken. — Einige neuere Reflektorkonstruktionen müssen hier übergangen werden.

Die angegebenen Zusammenstellungen von Linsen zu Refraktoren oder Linsen und Spiegeln zu Reflektoren sollen nur eine ungefähre Vorstellung von dem Bau dieser Apparate vermitteln. In der Praxis muß das Okular aus mindestens zwei Linsen zusammengesetzt werden; gewöhnlich nimmt man das Ramsdensche Okular, das aus zwei plankonvexen, einander die Wölbungen zuwendenden Linsen besteht.

Die Notwendigkeit, die von der chromatischen Abweichung herrührenden Farbensäume um die Objektivbilder wegzuschaffen, erkannte man schon im 17. Jahrhundert; man wußte aber zunächst kein anderes Mittel als die Verwendung von Objektiven mit sehr flacher Wölbung, also sehr großer Brennweite, wodurch manche Unbequemlichkeit

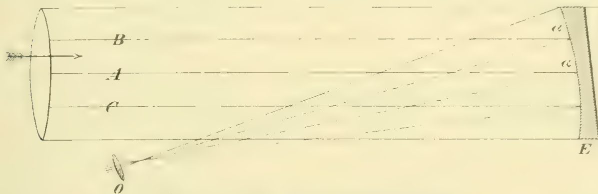


Fig. 196. Reflektor nach Herschels Anordnung.

herbeigeführt und der Zweck doch nicht vollständig erreicht wurde. Die theoretische Optik lehrt die Möglichkeit, zwei Linsen aus verschieden brechenden Stoffen dergestalt zusammenzustellen, daß zwei bestimmte Strahlengattungen dadurch denselben Brennpunkt bekommen, z. B. das der D-Linie entsprechende Gelb und das der G-Linie entsprechende Blau. Ein solches System heißt ein achromatisches[1], obwohl streng genommen doch noch Farbensäume übrig bleiben. Man gewinnt nämlich, wenn jene Strahlenarten denselben Brennpunkt haben, zwar ungefähr, aber nicht völlig, auch eine Vereinigung aller übrigen optisch wirksamen Strahlen in diesem Punkte. Die Linse im menschlichen Auge bildet mit dem dahinter befindlichen Glaskörper ein sehr gut achromatisiertes System; trotzdem lassen sich Farbensäume nachweisen. Dollond fertigte im Jahre 1757 die erste achromatische Linse an. Dieses Glas, welches für alle Zusammenstellungen solcher Art vollbildlich gewesen ist, bestand aus einem bikonvexen, dem Objekte zugewandten sogen. Crownglase und einem darauf passenden konkaven Flintglase[2], welches die von dem ersten Glase bewirkte Farbenzerstreuung

[1] Vgl. S. 573, Anm. 3.

[2] Wegen seines Bleigehaltes bricht das Flintglas die Lichtstrahlen stärker. Der Name ist auf den zur Anfertigung dieses Glases früher benutzten Feuerstein (Flint, daher auch Flinte) zurückzuführen.

aufhob, ohne zugleich die Brechung aufzuheben [1]. Außerdem hebt ein solches Glas — Fig. 197 stellt einige Formen im Durchschnitt dar — auch einen Teil der *sphärischen* Abweichung auf, es wirkt, wie man sagt, *aplanatisch*. Daß die Anordnung im allgemeinen nicht umkehrbar ist, kann man sehen, wenn man das achromatische Objektiv eines holländischen oder astronomischen Fernrohres verkehrt einsetzt, also das Crownglas dem Okular zuwendet. Es zeigen sich dann nicht nur auffallende Farbensäume, sondern auch starke Bildverzerrungen.

Die Achromatisierung der Fernrohre hat neuestens große Fortschritte gemacht; man bemüht sich, auch den Rest der Farbenabweichung, das sogen. sekundäre Spektrum, nach Möglichkeit wegzuschaffen teils durch Vermehrung oder verfeinerte Berechnung und Ausführung der Linsen, teils durch Einführung neuer Glassorten, worin besonders das glastechnische Institut in Jena Großes leistet. Demselben Institut verdankt man die *Feinkühlung*, ein Verfahren, wodurch man die gegossenen Linsen sehr langsam aus dem Schmelzflusse erkalten und beliebig lange auf gewissen Temperaturen halten kann. Die sonst aus der schnellen Abkühlung der äußern Schichten hervorgehenden, optisch sehr schädlichen Spannungen werden hierdurch vermieden. Auch das Schleifen, Polieren und Fassen der fertigen Linsen wird neuestens mit großer Feinheit ausgeführt.

Die steigende Verwendung der Photographie stellte die neue Aufgabe, Objektive für die chemischen Strahlen zu achromatisieren, d. h. von den parallel einer Richtung auf das Objektiv fallenden Strahlen dieser Art möglichst viele in einen Punkt zu vereinigen. Wegen der größern Brechbarkeit der violetten und ultravioletten Strahlen liegen deren Brennpunkte näher bei dem Objektive als die der roten und gelben Strahlen.

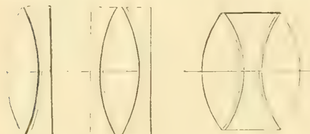


Fig. 197. Achromatische Linsen.

Der Durchmesser der Objektivlinse heißt die *Öffnung* oder *Apertur* des Fernrohres; die Brennweite des Objektivs ist zugleich ungefähr die Länge des Fernrohres, da die Brennweite des Okulars ihr gegenüber klein ist. Alle diese Größen werden häufig in englischem oder französischem Fußmaße angegeben. Zu ihrer Umrechnung auf das uns geläufigere Metermaß benutze man die Formeln:

$$\frac{1\ \text{Fuß englisch}}{1\ \text{Meter}} = 0{,}3047945 = 10^{9{,}4840071-10} = \frac{10}{33} + \frac{A_1}{170} - \frac{A_2}{100}.$$

$$\frac{1\ \text{Zoll (inch) engl.}}{1\ \text{Meter}} = 0{,}02539954 = 10^{8{,}4048254-10} = \frac{1}{40} + \frac{A_1}{63} + \frac{A_2}{150}.$$

$$\frac{1\ \text{Pariser Fuß}}{1\ \text{Meter}} = 0{,}3248394 = 10^{9{,}5116687-10} = \frac{10}{31} + \frac{A_1}{140} - \frac{A_2}{51}.$$

$$\frac{1\ \text{Pariser Zoll}}{1\ \text{Meter}} = 0{,}02706995 = 10^{8{,}4324877-10} = \frac{1}{37} + \frac{A_1}{630} + \frac{A_2}{2043}.$$

[1] Die geradsichtigen Spektroskope verfolgen den umgekehrten Zweck. Durch mehrere hintereinander geschaltete Prismen aus verschiedenem Glase werden die Strahlen möglichst stark in die Farben zerlegt, im Mittel aber wenig vom geraden Wege abgelenkt.

Als Beispiel für die sehr bequeme Umrechnung durch Teilbruchreihen [1] wählen wir die Umrechnung der Apertur des großen Lick-Refraktors, 36 Zoll englisch, auf Meter.

$$\text{Es ist}\quad A_1 = 36 : 40 = 0{,}9000$$
$$A_2 = A_1 : 63 = 0{,}90 : 63 = 0{,}0143$$
$$A_3 = A_2 : 150 = 0{,}0143 : 150 = 0{,}0001$$
$$A_1 + A_2 + A_3 = 0{,}9144.$$

Die Apertur beträgt also 91,4 cm. Der Refraktor der Lick-Sternwarte (zu Mount Hamilton in Californien) war noch vor einigen Jahren der größte der Welt. Da lief ihm der auf der Weltausstellung zu Chicago vorgeführte Vierzigzöller von 20 m Fokallänge den Rang ab, der später auf dem Yerkes Observatory zu Lake Geneva (Wisconsin) aufgestellt wurde. Dreißigzöllige Refraktoren besitzen die Sternwarten in Pulkowa und Nizza; Paris und Wien haben Siebenundzwanzigzöller, Washington und Chicago Sechsundzwanzigzöller u. s. w. Die für die photographische Durchmusterung bestimmten Objektive, die alle für chemische Strahlen achromatisiert sind, haben 13 Zoll oder 33 cm Öffnung; so das römische Objektiv Fig. 161 und 162 S. 489. Die größten Fernrohre in Deutschland sind der achtzehnzöllige Refraktor in Straßburg, der dreizehnzöllige photographische und der elfzöllige optische in Potsdam, je ein Zwölfzöller im Besitze der Urania in Berlin und des Herrn v. Engelhardt in Dresden, endlich das Archenholdsche Fernrohr in Treptow.

Der alte Wettstreit zwischen Refraktoren und Reflektoren scheint seit etlichen Jahren wieder einmal zu Gunsten der erstern entschieden zu sein. Jedenfalls leistet im allgemeinen ein Refraktor mehr als ein Reflektor, dessen Spiegelöffnung seiner Linsenöffnung gleichkommt. In neuerer Zeit hat man die schweren Metallspiegel der ältern Forscher, wofür der vom Earl of Rosse in Parsonstown (Irland) im Jahre 1844 erbaute, mit 72 Zoll Öffnung der größte Reflektor der Welt, als Beispiel dienen kann [2], mit Glück durch Glasschalen ersetzt, die auf der innern Seite auf chemischem oder elektrischem Wege versilbert werden. Der im Jahre 1888 von Common zu Ealing in England erbaute Reflektor von 60 Zoll ist der größte dieser Art. Übrigens hat man in allerletzter Zeit gefunden, daß in der Atmosphäre der Großstädte die Silberschicht vom Glase rasch abblättert; man kann sie zwar erneuern, doch ist auch schon versucht worden, das Glas wieder durch Kupfer zu ersetzen, das den Überzug besser festhält.

Über die Aufstellung der Fernrohre ist in einem frühern Kapitel (vgl. S. 490) einiges gesagt worden; zusammenfassend bringen wir hier zunächst drei Abbildungen der Haupttypen.

---

[1] Vgl. Heis, Aufgabensammlung. Die im Text angegebenen Reihen sind vom Verfasser dieses Buches gebildet worden; sie haben sehr geeignete Divisoren. Die ersten drei Reihen geben sechs Stellen, die letzte giebt sieben Stellen des Verhältnisses richtig.

[2] Die großen Fernrohre, womit Herschel und Lassell ihre staunenswerten Entdeckungen gemacht haben, sind der Zerstörung anheimgefallen. Die Überlegenheit der neuern Refraktoren zeigt sich sehr deutlich darin, daß selbst kleinere die Marsmonde und den Siriusbegleiter erkennen lassen.

Fig. 198 ist der Theodolit, den in vollständiger Ausführung Fig. 10 (S. 22) darstellt. Der Horizontalkreis HR dient zum Messen der Azimute, der Vertikalkreis EF zum Messen der Höhen, so daß die Richtung AA′ der optischen Achse des Rohres völlig bestimmt ist. Machen wir anstatt der Vertikalen die Weltachse zur Trägerin des Systems, so haben wir (Fig. 199) das Äquatorial. Es ist PP′ die Weltachse, AA′ der dem Äquator parallele Kreis, worauf die Stundenwinkel gemessen werden; auf dem Kreise BB′ mißt man die Deklinationen. Das Fernrohr

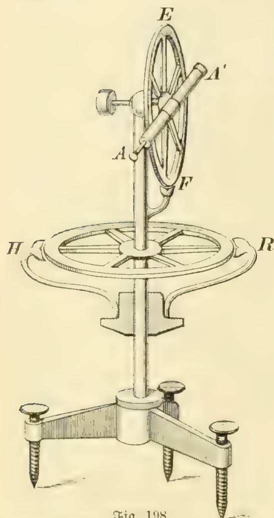


Fig. 198.
Schematische Darstellung des Theodoliten.

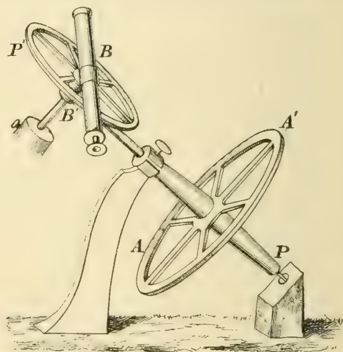


Fig. 199. Schematische Darstellung des Äquatorials.

wird parallaktisch bewegt, d. h. der täglichen Bewegung nachgedreht durch Rotation des Apparates um PP′. Es ist nicht schwer, in den Figuren 161 und 162 (S. 489) diese Anordnung wiederzufinden. — Die Bilder zeigen auch noch den Sucher, ein kleines Fernrohr von weitem Gesichtsfelde, dessen optische Achse der des großen Refraktors parallel ist. Er dient zum schnellern Einstellen der Objekte.

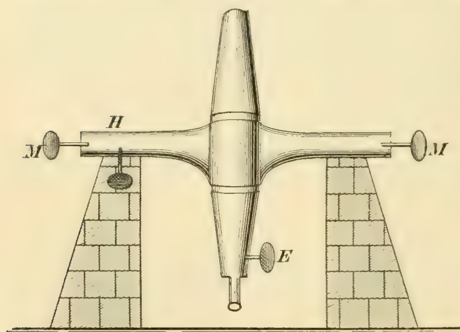


Fig. 200. Schematische Darstellung des Mittagsrohres.

Fig. 200 zeigt das wichtigste Instrument für absolute Ortsbestimmungen, das Mittagsrohr oder den Meridiankreis; dasselbe Instrument in seiner modernen Ausgestaltung zeigt Fig. 201. Wie die Abbildungen erkennen lassen, dreht sich das Fernrohr nur um eine einzige, und zwar eine horizontale Achse; diese ist westöstlich gerichtet, so daß sich die optische Achse nur in der Meridian=

ebene des Ortes drehen läßt. Daß die Rotationsachse möglichst genau die angegebene Lage hat und die optische Achse möglichst genau senkrecht auf ihr steht, wird in sinnreicher Weise zu erreichen gesucht; etwa übrig bleibende kleine Fehler sind zu berücksichtigen. Die Rotationsachse ruht in Lagern, die von sehr standfesten, von den übrigen Gebäudeteilen getrennten Pfeilern getragen werden. Größere Äquatoriale ruhen gleichfalls auf solchen isolierten Pfeilern. Die am Mittagsrohre angebrachten Kreise gestatten die Ablesung der Kulminationshöhe der durchgehenden Sterne, woraus sich nach Ab-

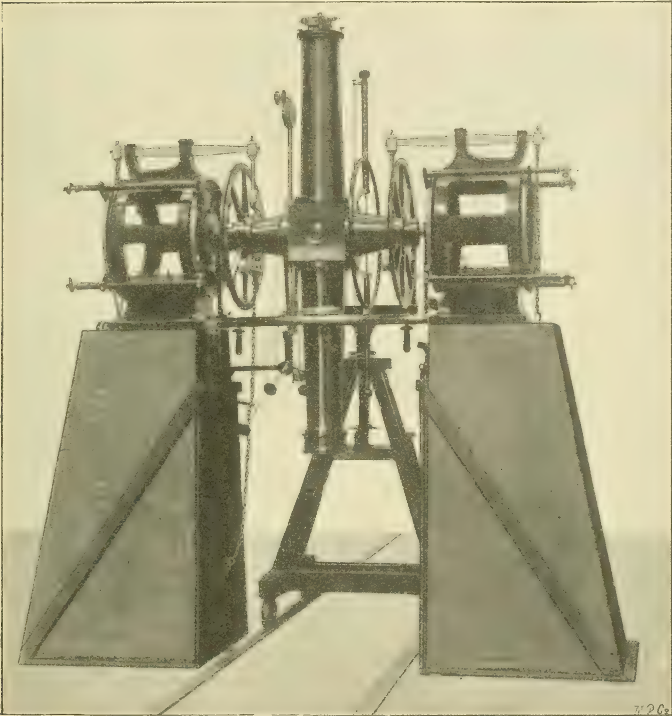


Fig. 201. Meridiankreis. (Konstruktion von A. Repsold u. Söhne, Hamburg.)

zug der Refraktion die Deklinationen mit Hilfe der Polhöhe finden lassen; die Sternzeit des Durchganges giebt die augenblickliche RA des Sternes, und durch die mit dem Mittagsrohre angestellten Sonnenbeobachtungen werden beständig wieder die wahre Sonnenzeit und die daraus abgeleiteten Größen, die Sternzeit [1] und die mittlere

[1] Man beachte, daß zur Sternzeit $0^h\ 0^m\ 0^s$ der Frühlingspunkt kulminiert, dessen Richtung, nämlich die Durchschnittslinie der Ebenen des Äquators und der Ekliptik, durch Sonnenbeobachtungen zu ermitteln ist.

Sonnenzeit, erhalten. An die beobachteten Rektascensionen und Deklinationen sind noch zahlreiche kleine Verbesserungen anzubringen, nämlich außer den von den Fehlern des Instrumentes abhangenden auch noch die Präcession, Nutation und Aberration, unter Umständen auch die tägliche oder jährliche Parallaxe[1], wenn man die RA und Decl auf feste Ebenen, z. B. auf mittlere Ekliptik und Äquinoktium eines Jahresanfanges, beziehen will. Vor allen äußern Störungen muß ein Instrument wie das Mittagsrohr in besonders sorgfältiger Weise geschützt werden.

* * *

Wir haben bei der Besprechung der Eigenschaften der optischen Linsen gesehen, daß die lineare Größe des Brennpunktsbildes mit dem Arkuswerte des scheinbaren Durchmessers des Objektes durch die einfache Gleichung $\beta = \delta f$ zusammenhängt. Durch lineare Messung des Bildes kann man also bei bekannter Brennweite des Objektives den scheinbaren Durchmesser eines Objektes bestimmen. Eine solche Messung wird am einfachsten dadurch vollzogen, daß in den Brennpunkt des Objektives eine einfache geometrische Figur eingesetzt wird, die mit dem Bilde irgendwie zur Deckung gebracht und gleich diesem durch das Okular in starker Vergrößerung gesehen wird. Eine solche Figur kann im allgemeinen ein Brennpunktsmikrometer genannt werden. Das früher (S. 23, Fig. 11) beschriebene Fadennetz des Theodoliten ist ein solches Mikrometer. Die Fäden, an einem Ringe ausgespannte Spinnenfäden oder feine Drähte, neuerdings auch eingeritzte Striche auf einem dünnen Glasplättchen, haben bestimmte oder durch Schraubenbewegung in bestimmter Weise veränderliche Abstände. Auch der Meridiankreis hat ein Fadennetz, und indem man die Antritte der Sterne an verschiedene Vertikalfäden beobachtet, bekommt man mehrere Zeitbestimmungen, deren Mittelwert genauer ist als eine einzelne Bestimmung.

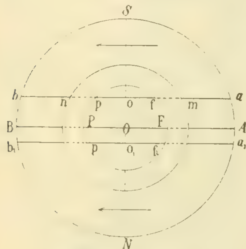


Fig. 202. Ringmikrometer.

Vielfach ist man gar nicht in der Lage, einen Himmelskörper im Meridian zu beobachten; so bei Kometen in geringer Elongation von der Sonne. Man muß sie dann in einer andern Gegend des Himmels untersuchen und ihre RA und Decl durch Anschluß an bekannte Fixsterne bestimmen. Da solche durch die fortgesetzten Durchmusterungen und Zonenbeobachtungen in großer Zahl gegeben sind, kann man sie in jedem Gebiete der Sphäre in hinreichender Nähe des Kometen finden. Es handelt sich nun um Bestimmung der Differenzen in RA und Decl für den Kometen und den seiner Stellung nach bekannten Stern. Von den hierfür gebräuchlichen Mikrometern ist eines der wichtigsten das in Fig. 202 dargestellte Ringmikrometer. Das Gesichtsfeld des Tubus wird durch den äußersten Kreis mit dem Durchmesser NS begrenzt. In die Brennebene ist ein Ring aus undurchsichtigem Stoffe eingesetzt, dessen Centrum O in der optischen Achse liegt. Das Fernrohr bedarf keiner festen Aufstellung, es muß nur während der Beobachtung in Ruhe sein. Dann werden alle Sterne, die von der täglichen Bewegung des Himmels durch das Gesichtsfeld geführt werden, in diesem Felde Bahnen beschreiben, die ihrer Kleinheit wegen als parallele gerade Linien anzusehen sind, z. B. ab, AB, $a_1 b_1$.

[1] Die tägliche Parallaxe verschwindet, gleich der Refraktion, für die RA im Meridian, beeinflußt aber, ähnlich wie jene, die Decl.

Die Bahnen stehen senkrecht auf dem Deklinationskreise, also auf der Linie NS, worin eine durch die Weltachse und die optische Achse gelegte Ebene die Brennebene [1] schneidet. Bleibt das Fernrohr in Ruhe, so bleibt NS konstant; es ist beim Zeichnen der Figur an einen europäischen Beobachter gedacht, der den Apparat auf Sterne in der Südgegend gerichtet hat. Die Pfeile zeigen die Richtung des Durchganges an, alles für das umkehrende Fernrohr; die auf den Kopf gestellte Figur zeigt die wahren Verhältnisse.

Es falle nun die optische Achse in die Ebene des Himmelsäquators, und mit ihr natürlich die Strecke AB. Ein dem Äquator nahestehender Stern beschreibt dann die Linie AB im Felde. Ist f die Brennweite, so hat 1″ im Bilde die Größe f : 206 265; und wenn r der lineare Wert vom Radius des innern Kreises $p\,f\,p_1\,f_1$ ist, so hat dieser Radius in Winkelsekunden den Wert $r : (f : 206\,265) = 206\,265\,r : f$. Bezeichnet man diese Größe mit ρ, so wird der im Äquator stehende Stern $\rho : 15$ Zeitsekunden brauchen, um von F nach O, und ebensoviel, um von O nach P zu kommen. Hat er dagegen die Deklination δ, so geht er im umgekehrten Verhältnisse des cos langsamer, braucht also $2\rho \sec\delta : 15$ Zeitsekunden zum Durchgange von F nach P. Geht ferner der Stern nicht central durch, sondern z. B. in der Linie a f o p b, dann ist in Zeitsekunden $fp = FP \sin oOf = 2\rho \sec\delta \sin oOf : 15$. Kennt man also die Decl der optischen Achse und damit die Durchgangszeit FP, hat man ferner fp aus der Beobachtung bestimmt, so hat man sin oOF, damit aber auch $\cos oOF = oO : \rho$, also auch den Arkuswert von oO oder den Abstand des Sternes vom mittlern Parallel. Und ist gleichzeitig für einen andern durch das Feld gehenden Himmelskörper die Durchgangslinie $f_1\,p_1$ in Zeitsekunden bestimmt worden, so erhält man auch $O\,o_1$, also auch $oO + Oo_1 = oo_1$ oder den Deklinationsunterschied der beiden Gestirne, der natürlich in Winkelsekunden, nicht in Zeitsekunden angegeben ist. Man ist berechtigt, für beide Korper dieselbe Decl, z. B. die des bekannten Sternes, zur Bildung der $\sec\delta$ zu benutzen, weil sich in dem engen Felde dieser Faktor nur wenig ändert [2]. Außer dem Unterschiede in Decl erhält man aber auch den in RA, da für den einen Stern s das Mittel aus den Sternzeiten des Durchganges durch f und p die Zeit des Durchganges durch o, für den andern s_1 das entsprechende Mittel die Zeit des Durchganges durch o_1 ergiebt. Die Differenz dieser Mittelwerte ist die der Stundenwinkel beim Durchgange durch den Stundenkreis NS, woraus sich die Differenz der RA ergiebt.

Die Vervollständigung des Kreises zu einem Ringe bedeutet für den Beobachter die Wahrnehmung von vier Momenten m, f, p, n, also eine vermehrte Genauigkeit. Unter den Fehlerquellen des Apparates ist die Refraktion zu nennen, die bewirkt, daß das von dem Ringe umschlossene Himmelsfeld elliptisch mit vertikaler Hauptachse ist. Der Fehler läßt sich durch Rechnung wegschaffen.

Ein drehbares Fadennetz benutzt man zum Bestimmen von Positionswinkeln, z. B. bei Doppelsternen. Bringt man den Hauptfaden zum Zusammenfallen mit der Verbindungslinie der Komponenten, so giebt seine Stellung zum Deklinationskreise, die sich außen am Äquatorial in geeigneter Weise ablesen läßt, den Positionswinkel, und indem man von den auf dem Hauptfaden senkrechten andern Fäden, die gegeneinander durch Schrauben beweglich sind, je einen mit jeder Komponente zu-

[1] Die hier mehrfach erwähnte Brennebene steht im Brennpunkte senkrecht auf der optischen Achse, und daß in ihr die Bilder entstehen, folgt aus der S. 572 angegebenen Voraussetzung der kleinen Winkel.

[2] In höhern Deklinationen ist natürlich darauf Rücksicht zu nehmen.

sammenfallen läßt, giebt die Umrechnung des aus der Zahl der Schraubenumläufe ermittelten linearen Abstandes dieser Fäden in den entsprechenden Arkus die Distanz des Sternpaares.

Eines der sinnreichsten Meßwerkzeuge ist das Heliometer[1]. Hier ist das ganze Objektiv in der in Fig. 203 angedeuteten Weise zerschnitten. Jede Hälfte giebt ein besonderes Brennpunktsbild, und da die Hälften durch Schrauben gegeneinander verschiebbar sind, kann man es z. B. erreichen, daß die Bilder p_1 und p_2 eines Planeten einander berühren. Die Centra stehen dann genau um den Durchmesser voneinander ab, dessen Bogenwert aus der zum Zustandekommen des Kontaktes notwendig gewesenen Bewegung erschlossen wird.

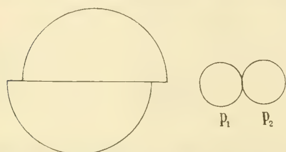


Fig. 203. Zerschnittenes Objektiv und doppelte Bilder beim Heliometer.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß infolge von Augen- oder Urteilstäuschungen eine Strecke des Brennbildes je nach ihrer Stellung zur Vertikalen verschieden gemessen wird. Zur Unschädlichmachung dieses Fehlers dienen total reflektierende Prismen, die man drehbar vor dem Okular anbringt.

* * *

Als einfaches Mittel zur Bestimmung der wahren Sonnenzeit oder des Stundenwinkels der Sonne sind die Sonnenuhren früher (S. 69) erwähnt worden. Fig. 204 zeigt die äquatoriale Sonnenuhr: der Stab CP ist parallel der Weltachse, die Ellipse ist das Bild eines cylindrischen Ringes, auf dem der Schatten des Stabes der Zeit proportionale Strecken zurücklegt. Die durch den Stab und die einzelnen

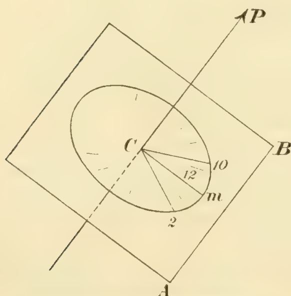


Fig. 204. Äquatoriale Sonnenuhr.

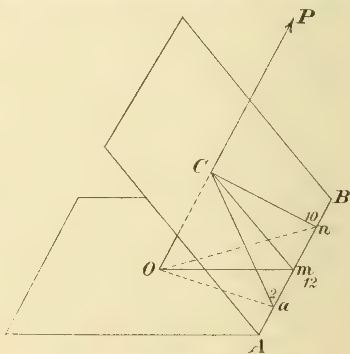


Fig. 205. Horizontale Sonnenuhr.

Radien gehenden Schattenebenen sind zugleich Stundenebenen, und wenn man sie, wie das Fig. 205 andeutet, mit einer beliebigen Ebene, z. B. der horizontalen, zum Durchschnitte bringt, erhält man in On, Om, Oa die Schlagschatten auf dieser Fläche. Anstatt dieser horizontalen Sonnenuhr kann man auch eine vertikale für beliebig gerichtete Wände oder auch eine schräge entweder nach den Gesetzen der Geometrie zeichnen oder nach denen der Trigonometrie berechnen.

[1] Der Name deutet die Anwendung auf den Sonnendurchmesser an.

Bei bekannter Polhöhe und Sonnen-Decl genügt die Beobachtung der Sonnenhöhe zur Bestimmung der wahren Zeit nach den Formeln der sphärischen Trigonometrie (S. 43) oder auch nach graphischer Methode durch den Himmelsglobus. Man erhält diese Höhe angenähert aus der Schattenlänge eines Stabes oder Turmes von bekannter vertikaler Erhebung über eine horizontale Grundfläche, da die tan der Höhe gleich dem Verhältnisse der zweiten Strecke zur ersten ist. Ein solcher Schattenzeiger heißt Gnomon[1]. Er muß sehr hoch und standfest sein, um eine leidlich gute Bestimmung zu ermöglichen, und wie die Sonnenuhr kann man ihn nur in einem günstigen Klima voll ausnutzen.

Astronomische Beobachtungen auf hoher See sind zur Ortsbestimmung unerläßlich; die schwankende Grundlage erfordert hier aber besondere Konstruktionen. Zur Messung des Winkelabstandes von zwei Objekten, z. B. dem Monde und einem Fixstern, dient der Spiegelsextant. Das Instrument, bezüglich dessen näherer Beschreibung auf die Lehrbücher der Physik verwiesen wird, enthält ein Fernrohr, wodurch man das eine Objekt unmittelbar, von dem andern aber ein zweifach reflektiertes Bild schaut. Dazu ist je nach dem Abstande der Objekte voneinander eine verschiedene Drehung der Spiegel notwendig. Die Spiegel werden auch wohl durch die vorteilhaftern Prismen ersetzt, und der Sextant (geteilter Bogen von 60°) durch einen geteilten Vollkreis. Ist das eine Objekt die Sonne, das andere deren Spiegelbild in einem Quecksilberhorizonte, so erhält man in dem durch die nötige Drehung bestimmten Abstande die doppelte Sonnenhöhe und damit zur Zeitbestimmung ein einfaches Mittel[2]. Der Gebrauch des Sextanten erfordert Geschicklichkeit, da der Apparat frei in der Hand gehalten werden muß.

Zur Bestimmung der Uhrzeit des wahren Mittages auf einer festen Station kann man sich eines Durchgangsinstrumentes bedienen, das dem Mittagsrohre nachgebildet ist, etwa eines Theodoliten, dessen Vertikalkreis in einer bestimmten Lage, nämlich in der des Meridians, festgeklemmt wird. Da das Instrument tragbar ist, so muß man ein Mittel haben, den Meridian immer schnell zu finden. Hierzu kann eine Mire oder Meridianmarke dienen, nämlich ein vertikales Zeichen an einem in der Mittagslinie weit entfernt stehenden Körper, etwa einem Hause. Zur ersten Bestimmung des Meridians kann man sich der mit Hilfe der RA und des bekannten Unterschiedes zwischen Sternzeit und mittlerer Zeit vorauszuberechnenden Kulminationszeit eines dem Pole nahen Sternes für einen bestimmten Tag bedienen. Das Azimut eines solchen Sternes ändert sich so langsam, daß für die erste, leicht noch zu verbessernde Näherung eine auf ein paar Minuten unsichere Kenntnis der mittlern Zeit oder auch der damit in einfacher Weise zusammenhangenden M. E. Z. genügt.

So kann schon ein verhältnismäßig einfaches und wohlfeiles Instrument zur Bestimmung des wahren Mittags bis auf einige Sekunden genügen. Es sind dafür noch einige andere hier nicht zu besprechende Vorrichtungen angegeben worden. Hat man die Lage des Meridians nicht, wie es z. B. auf Reisen vorkommt, so ist die Zeitbestimmung aus korrespondierenden Sonnenhöhen vorzuziehen. Ist z. B. um 22^h wahrer Zeit der Theodolit auf die Sonne gerichtet worden, und hat

---

[1] *Γνώμων* von derselben Wortwurzel wie *γιγνώσκειν*, erkennen.

[2] Die Decl der Sonne entnimmt man den Tafeln der astronomischen Jahrbücher; da sie sich relativ langsam ändert, verdirbt ihre Unsicherheit nicht die Zeitbestimmung. Auch die Polhöhe kennt man angenähert, was wenigstens für die erste Rechnung ausreicht.

man hierauf das Fernrohr im Vertikalkreise festgeklemmt, so daß nur mehr die azimutale Bewegung möglich ist, so genügt eine solche, um die Sonne abermals um 2ᵘ im Gesichtsfelde zu haben. Die Mitte der Uhrzeiten giebt die Uhrzeit des wahren Mittages und die Mitte der Stellungen im Horizontalkreise die Stellung der Meridianebene, abgesehen von der durch Rechnung zu berücksichtigenden Änderung der Decl der ⊙, die sich am meisten in den Äquinoktien bemerkbar macht. Der unter dem Namen Chronodeik[1] bekannte, bereits ziemlich verbreitete einfache Apparat, den unsere Fig. 206 in der Ausführung zeigt, die ihm Kessel in Wien nach der Anweisung von Professor Palisa ebendort gegeben hat, enthält unter dem vertikal abwärts gerichteten Fernröhrchen einen Spiegel, der um eine horizontale Achse drehbar ist. Die durch den Schlitz in das Rohr eingedrungenen Strahlen werden bei bestimmter, von der Sonnenhöhe abhangender Stellung des Spiegels vertikal aufwärts geworfen, der Beobachter sieht also ein Sonnenbild durch das Feld des Fernrohres ziehen, dessen Berührungen mit den Fäden eines im Brennpunkte ausgespannten Netzes er nach der Uhrzeit vermerkt. Das Netz ist horizontal, und die Fäden, auf deren Kontakte es ankommt, sind der Rotationsachse des Spiegels parallel. Hat man morgens diese Aufzeichnungen gemacht, so läßt man den Spiegel stehen und beobachtet am Nachmittage den umgekehrten Verlauf der Erscheinungen, um zuletzt ein ziemlich genaues Mittel zu erhalten. Die von der veränderlichen Decl abhangende Verbesserung[2] muß auch hier angebracht werden, der Gangfehler der Uhr hebt sich im Mittel auf, ebenso bei nicht zu geringen Sonnenhöhen die Refraktion, natürlich auch die RA-Änderung der ⊙, wenn auch nicht deren (kleine) Beschleunigung. Obschon der Gebrauch dieses Apparates wie überhaupt die Methode der korrespondierenden Sonnenhöhen, namentlich im deutschen Klima wegen der Unsicherheit des Wetters, manche Verdrießlichkeiten mit sich bringt, die sich besonders im Winter bemerkbar machen, können wir ihn doch als ein einfaches, auch auf Reisen nicht versagendes Hilfsmittel aus eigener Erfahrung empfehlen.

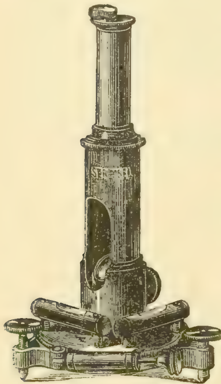


Fig. 206. Das Chronodeik nach Palisa und Kessel.

* * *

Mit der Messung der Winkel ist die der Zeitgrößen unzertrennlich verbunden. Die verschiedenen Arten der Zeitzählung, Sternzeit und mittlere Zeit, sind früher (S. 28 ff. 67 ff.) erörtert worden. Die Rotation der Erde wird als gleichförmig angesehen, d. h. man nimmt an, daß zur Drehung um gleiche Winkel gleiche Zeiten gebraucht werden. Eine mechanische Vorrichtung, wobei in regelmäßiger Folge gleiche Ursachen gleiche Wirkungen erzeugen, die sich im weitern Verlaufe zu einer regelmäßigen Zeigerbewegung aufsummen, nennt man eine Uhr[3]. Daß zu jenen periodisch wiederkehrenden Vorgängen immer dieselbe Zeit gebraucht wird, ist eine Annahme, die sich auch als Definition deuten läßt; denn wie könnten wir die Zeit sonst messen, da wir

[1] *Χρόνος*, die Zeit; *δείκνυμι*, zeige an.

[2] Der Verfertiger liefert dafür die nötigen Tafeln.

[3] Unser Wort bedeutet neben horologium bekanntlich auch hora.

ihren Begriff nicht einmal zu definieren vermögen? Die Richtigkeit des Vorgehens wird aber eben dadurch verbürgt, daß je genauer man die Uhren konstruiert, desto übereinstimmender ihre Angaben ausfallen. So dürfen wir die Meßbarkeit der Zeit für ebenso feststehend ansehen wie die der Strecken und wie die übereinstimmende Gestalt der Atome im weiten All. Beides ist eine Folge der in allen geschaffenen Dingen liegenden Ordnung nach Maß und Zahl. Die vollkommenste Uhr ist und bleibt die rotierende Erde; abgesehen von den kleinen Störungen durch die Nutation, Flutreibung u. s. w. hat sie stets dieselbe Drehungszeit.

In einem Pendel, das ohne Widerstand hin und her schwingt, haben wir einen richtigen Zeitmesser. Allerdings läßt sich ein widerstandsloses Pendel nicht anfertigen und erst recht nicht mit einem Gang- und Zeigerwerke verbinden. Der von Galilei entdeckte Isochronismus des Pendels oder seine Eigenschaft, große und kleine Schwingungen ziemlich genau in gleicher Zeit zu vollziehen, solange die Schwingungen nicht sehr groß werden[1], gestattet uns nun aber, das Pendel selbst mit einem solchen Werke zu verbinden, dessen Triebkraft etwas veränderlich ist. Allerdings bleibt es doch erwünscht, sie möglichst konstant zu halten, weil der Isochronismus nicht genau richtig ist. So leiden die jetzt beliebten wohlfeilen Zimmer-Regulatoren, die eine starke Triebfeder und zur Regulierung ein Pendel besitzen, an dem Übelstande, daß kurz nach dem Aufziehen infolge des starken Antriebes die Schwingungen sehr groß werden und darum etwas mehr Zeit brauchen als kurz vor dem Aufziehen, wo die erschlaffte Feder dem Pendel nur schwache Stöße erteilt. Manchmal beträgt die Gangzeit 14^d, und die Fehler werden sehr groß. — Die Art der Verbindung des Pendels mit dem Gangwerke ist in Fig. 207 für die Gewichtsuhr dargestellt; hier ist der Antrieb weit konstanter, der Gang also besser. Für alle Pendeluhren, und ähnlich auch für Uhren mit Regulierfedern, muß angestrebt werden, daß der zum Ersatze der durch die Widerstände verlorenen Kraft erfolgende Antrieb zeitlich nur einen ganz geringen Bruchteil der Schwingung ausmacht, mit andern Worten, daß die Schwingung möglichst frei ist.

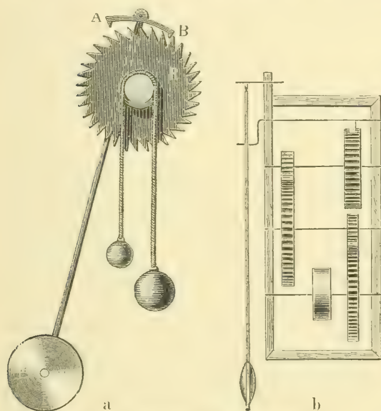


Fig. 207. Ankerhemmung bei Pendeluhren.

Eine elastische Metallfeder gerät infolge einer Gestaltveränderung in ähnliche Schwingungen wie ein Pendel; auch diese hören infolge der Widerstände mit der Zeit auf, wenn kein neuer Antrieb erfolgt. Für eine cylindrische Spiralfeder von bestimmter Dicke und Elasticität folgt aus der Theorie und auch aus der Erfahrung die Richtigkeit des Satzes von Leroy: Ist die Feder lang, so sind auch die Schwingungszeiten lang, und sie sind bei großen Schwingungen länger als bei kleinen. Verkleinert man die Feder allmählich, so werden die Schwingungszeiten

[1] Die genauere Formel ist S. 144 angegeben.

kürzer, und außerdem nimmt der Unterschied zwischen den Perioden der großen und kleinen Schwingungen ab, um bei bestimmter, vom Gefüge der Feder abhangender Länge einem genauen Isochronismus Platz zu machen. Bei noch weiterer Verkleinerung werden alle Schwingungen rascher, und zwar die großen rascher als die kleinen, der Isochronismus hört wieder auf. Es ist aber nicht nötig, der zum Regulieren dienenden Feder genau die isochrone Länge zu geben; wie Phillips gezeigt hat, schwingt sie auch bei andern Längen isochron, wenn man ihre Gestalt an den Punkten ihrer Befestigung durch Umbiegen in sogen. Endkurven entsprechend verändert. Befestigt ist die Feder mit einem Ende im Gehäuse, mit dem andern excentrisch in einem Ringe, dem Unruhreifen. Man braucht bei den Marine-Federuhren cylindrische Spiralfedern, die sich sehr genau regulieren lassen, zieht jedoch für Taschenuhren die bequemere ebene Spirale vor. Durch die Verbindung der Feder mit der Unruhe (französ. balancier) wird die Gültigkeit des Leroyschen Gesetzes etwas in Frage gestellt, und es bedarf einer sorgfältigen empirischen Regulierung (réglage), die am besten auf einer Sternwarte vorgenommen wird. Mit der Unruhe ist, bei bessern Taschenuhren fast allgemein, die freie Ankerhemmung verbunden, wodurch eine regelmäßige Unterbrechung des von einer Triebfeder verursachten Ganges bewirkt und gleichzeitig während jeder Schwingung der Unruhe ein sehr kurz andauernder Stoß versetzt wird. Durch Einführung langer Triebfedern und andere mechanische Hilfsmittel sucht man noch den an sich sehr veränderlichen Antrieb möglichst beständig zu machen.

Die See-Chronometer hangen in einer sogen. Cardanischen Aufhängung, so daß sie auch bei größern Schwankungen des Schiffes in richtiger Lage bleiben. Das läßt sich bei der Taschenuhr nicht durchführen; sie muß darum, wenn sie verläßlich sein soll, vom Verfertiger in verschiedenen Lagen reguliert sein. Denn es ist offenbar schon für den Reibungswiderstand nicht gleichgültig, ob die in Edelsteinen (Rubinen, rubis) laufenden Achsen der Räder horizontal oder vertikal liegen.

Die Ausdehnung der Pendel und Unruhfedern durch die Wärme müßte eine Änderung des Ganges bewirken, wenn nicht für eine Ausgleichung oder Kompensation gesorgt würde. Die Beschreibung der verschiedenen Arten von Kompensationspendeln: Rostpendel, Quecksilberpendel und Holzpendel mit Bleilinse, muß den physikalischen Lehrbüchern überlassen werden. Von den meisten wohlfeilen Rostpendeln dürfte dasselbe gelten, was man von vielen Blitzableitern behauptet: sie sind schlimmer als gar keine. Die Quecksilberkompensation läßt sich sehr genau machen, ist daher bei astronomischen Uhren besonders beliebt. Für den Hausgebrauch dürfte ein richtig konstruiertes Holzpendel mit Bleilinse, an einem Gewichtswerke angebracht, am meisten zu empfehlen sein, und auch für die meisten mit geringern Mitteln anzustellenden Himmelsbeobachtungen. Soll eine Taschenuhr so genau gehen, wie eine mäßig gute Pendeluhr, dann muß sie schon sehr gut gearbeitet und entsprechend kostspielig sein. Die Wärme, deren ausdehnende Wirkung man in sinnreicher Weise durch zusammengelötete Streifen aus verschiedenen Metallen (balancier coupé) auszugleichen sucht, macht sich noch auf andere Weise geltend, z. B. durch ihre Wirkung auf das Schmieröl. Man kann zufrieden sein, wenn die Konstanz des Ganges auf einige Wochen zu verbürgen ist.

Außer mechanischen und thermischen kann die Unruhfeder auch magnetische Störungen erfahren, besonders in der Nähe starker Dynamomaschinen. Man hat zu ihrer Abwehr Federn aus anderem Metall (Palladium) eingeführt, indessen scheint bei den Maschinen neuerer Art die Gefahr kleiner geworden zu sein.

Die Pendeluhren der Sternwarten sind vielfach darauf eingerichtet, jede abgelaufene Sekunde durch einen Schlag zu melden. Der Beobachter kann dann die

Aufmerksamkeit des Auges auf den durch das Gesichtsfeld seines Rohres ziehenden Stern lenken und braucht die Sekunden, von einem vorher notierten Anfange an, nur mechanisch weiterzuzählen. Der Antritt an den Faden oder Ring seines Mikrometers wird gewöhnlich zwischen zwei Sekundenschläge fallen, und ein geschickter Beobachter schätzt noch die Zehntelsekunden. Neben dieser „Beobachtung mit Auge und Ohr" ist neuerdings auch die elektrische Registrierung aufgekommen. Ein Uhrwerk rollt einen Streifen gleichmäßig ab, und im Augenblicke des Fadenantrittes schließt der Beobachter durch Zusammendrücken einer in der Hand gehaltenen Kontaktgabel einen Strom, durch dessen Wirkung in den Papierstreifen ein Zeichen eingedrückt wird. Die Zeitmessung wird damit auf eine Streckenmessung zurückgeführt. Dieses „chronographische Verfahren" ist im ganzen bequemer als das alte. Fehlerquellen haben beide: die Wahrnehmung des Fadenantrittes im Bewußtsein braucht zu ihrem Entstehen eine gewisse Zeit, eine andere die Schallwahrnehmung, wieder eine andere die Umsetzung des Willensaktes in die Arbeit der Finger. Diese Zeiten, schon bei demselben Beobachter etwas veränderlich, können bei mehreren Beobachtern erst recht nicht gleich bleiben. So erklären sich die sogen. persönlichen Gleichungen, kleine Korrektionen, mit denen der Beobachter auf Grund seiner längern Erfahrung die von ihm vermerkten Fadenantritte versieht.

* * *

Ein Gebäude, das nach seiner Lage zum regelmäßigen Beobachten des Himmels geeignet und zu diesem Zwecke mit Fernrohren, Mikrometern, Uhren, mit Karten und anderem litterarischen Rüstzeuge ausgestattet ist, nennt man eine Sternwarte[1] oder ein Observatorium. Eine solche Anlage soll recht frei liegen und gegen die von der Straße kommenden Erschütterungen, Schallwellen und Staubwolken womöglich durch Gartenanlagen geschützt sein. Auch starke irdische Lichtquellen hat man fernzuhalten, zumal in unserer Zeit, wo diese immer aufdringlicher werden und andererseits die modernen Aufgaben der Wissenschaft, Photographie, Photometrie und Spektralanalyse, immer gebieterischer einen unbeleuchteten Luftkreis verlangen. So hat man viele neuere Beobachtungsstellen im Walde (Potsdam), in ausgedehnten Gartenanlagen (Vatikan), in der klaren Luft der Hochgebirge (Mount Hamilton, Arequipa) errichtet. Wo man das Beste nicht haben kann, muß man sich mit dem Guten begnügen; der eifrige Beobachter der Sternschnuppen, des Zodiakallichtes, der Veränderlichen oder der Milchstraße wird in einem frei liegenden Garten, der ein kleines verschließbares Haus zur Bergung der Instrumente und Bücher hat, bei redlichem Willen vieles durchsetzen können, sich jedoch unter Umständen auch einen Gang auf die Landstraße nicht verdrießen lassen, selbst auf die Gefahr hin, seinen Mitmenschen dadurch ein wohlmeinendes Lächeln abzunötigen.

Ein kleiner windgeschützter Raum, worin der Beobachter von Zeit zu Zeit ausruhen, auch wohl längere Bemerkungen niederschreiben kann, ist aber im allgemeinen dringend erforderlich. Als Kopfbedeckung wählt man am besten eine wollene Mütze, die bei strenger Kälte auch über die Ohren gestülpt werden kann. Was regelmäßig zum Beobachten gebraucht wird, liegt zweckmäßig in einem leicht zugänglichen Raume

---

[1] Das schöne Wort ist eines der besten Ergebnisse des sonst nicht immer glücklichen Verdeutschungseifers; es ist erst um die Mitte des 18. Jahrhunderts von Popowitsch gebildet worden. Die Niederländer brauchen es in der noch klangvollern Fassung: sterrenwacht. Das alte lateinische Wort specula (ital. specola) ist durch die vatikanische Sternwarte wieder zu Ehren gebracht worden.

beisammen; also für den Liebhaberastronomen z. B. ein Himmelsatlas, das Beobachtungsbuch, m e h r e r e angespitzte Bleistifte, das Fernrohr, das Leder[1] zum Putzen der Gläser, das verschließbare Lämpchen und die Mütze.

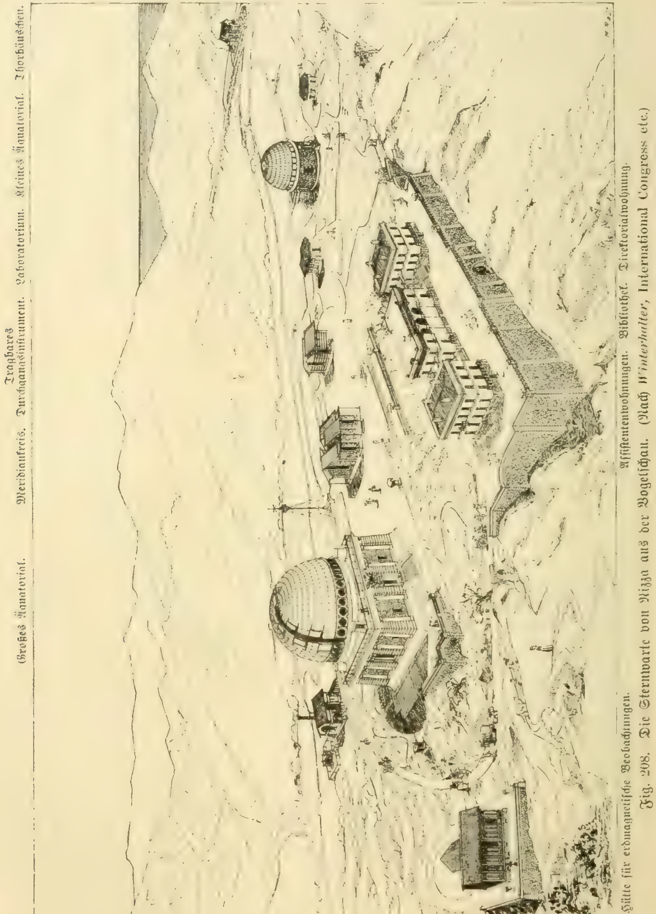


Fig. 208. Die Sternwarte von Nizza aus der Vogelschau. (Nach *Winterhalter*, International Congress etc.)

In Fig. 208 geben wir eine Ansicht der Sternwarte bei Nizza aus einem allerdings bereits im Jahre 1889 gedruckten amerikanischen Werke; es ist aber die

[1] Fensterleder, noch besser ein abgelegter weißer Handschuh.

Anordnung dieselbe geblieben, nur sind einige Gebäude hinzugekommen. Am Fuße der Seealpen [1] auf dem Mont Gros in 320—372 m Höhe, nimmt die von dem Pariser Bankier Raphael L. Bischoffsheim begründete und reich ausgestattete Anlage einen Flächenraum von 36 ha ein. Unter den einzelnen Gebäuden ragt die Behausung des großen Äquatorials durch ihre gewaltigen Dimensionen hervor. Der quadratische Unterbau hat 26 m Kantenlänge und ist 9 m hoch. Er trägt, nach dem sinnreichen Plane von Eiffel [2], einen ringförmigen eisernen, mit Wasser oder Chlorcalcium-Lösung gefüllten Trog, worin die Drehkuppel, eine Masse von 95 000 kg, schwimmt. Sie ist infolgedessen ziemlich leicht beweglich; doch kann man das Wasser auch ablassen, wie es für den Fall einer notwendigen Reparatur erwünscht ist, und die Drehkuppel legt sich dann auf drei Kreissysteme von Rädern, worauf sie nach der ältern Konstruktion gleiten kann. Das Äquatorial ist mit 76 cm Apertur und 18 m Brennweite noch immer eines der größten Fernrohre der Welt. Daß die Kuppel, welche diesen Koloß aufnimmt, ein relativ geringes Gewicht hat, erklärt sich aus der wohlberechneten Anordnung der Rippen und Bänder, die es gestattete, zur Füllung Stahlblech von nur 1,5 mm Stärke zu verwenden. Es versteht sich, daß das Instrument auf besondern Steinpfeilern ruht.

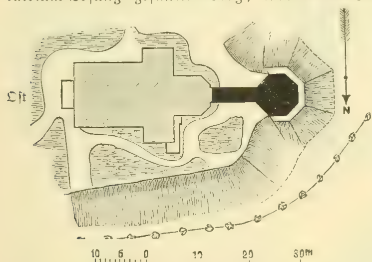


Fig. 209. Die Universitäts-Sternwarte in Königsberg: Lageplan.

Südöstlich vom großen Äquatorial ist das Meridiangebäude mit dem Mittagsrohr, dann folgt ein anderes mit einem beweglichen Durchgangsinstrumente für wissenschaftliche Expeditionen. Es folgen das spektroskopisch-chemische Laboratorium,

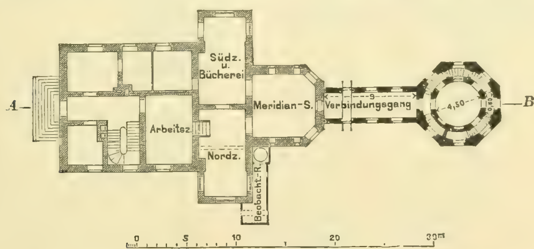


Fig. 210. Die Universitäts-Sternwarte in Königsberg: Grundriß in Höhe EF.

der Kuppelbau für das „kleine“ Äquatorial von 38 cm Öffnung, ein Gärtnerhaus und das Gebäude für den Thorwärter. An der andern Seite bemerkt man noch ein Vorratshaus für Gasolin und eine mit Vermeidung von Eisenteilen gebaute erd-

[1] Sie hindern die Aussicht weniger, als man denken möchte. Süden, die wichtigste Himmelsgegend, ist frei. Der Schlitz des Meridiangebäudes deutet die nordsüdliche Richtung an.

[2] Dem Erbauer des bekannten Turmes in Paris.

magnetische Beobachtungshütte. Die aufgemauerte Terrasse im Vordergrunde trägt die Wohngebäude und die Bibliothek.

Unsere Figuren 209—212 bringen den gegenwärtigen Zustand der Universitäts-Sternwarte zu Königsberg [1], welche durch Friedr. Wilh. Bessels Wirken zu größter Berühmtheit gelangte, zur Darstellung, und zwar als ein Beispiel dafür, daß auch mit bescheidenen Mitteln wahrhaft Großes erreicht werden kann. Als Bessel 1810 von Lilienthal als Professor der Astronomie nach Königsberg berufen wurde, gelang ihm trotz aller Ungunst jener unglücklichsten Zeiten des Vaterlandes die Errichtung einer neuen Sternwarte, welche freilich nach seinen Angaben, aber selbstredend unter größter Einschränkung seiner Wünsche, in den Jahren 1811 bis 1813 durch Müller erbaut und anfangs mit einer fast dürftigen Einrichtung von englischen Instrumenten ausgestattet wurde. Allmählich traten deutsche Instrumente, meist von Reichenbach, an deren Stelle; aber erst im Jahre 1830 wurde der Drehturm nachträglich aufgebaut, in welchem das weithin bekannt gewordene sechszöllige Heliometer von Fraunhofer — nach dessen Tode (1826), erst im Jahre 1829 vollendet — seinen Platz fand, womit Bessel, der Begründer der neuern Beobachtungskunst, seine unvergleichlichen und an Genauigkeit unerreichten Arbeiten ausführte. Ein halbes Jahrhundert lang nach Bessels Tode (1846) blieb die Sternwarte nahezu unverändert; denn erst in unsern Tagen (1896) wurde die inzwischen immer dringender gewordene Erweiterung derselben dadurch herbeigeführt, daß ein Kuppelturm mit dreizehnzölligem Refraktor neuerbaut und durch einen bedeckten, ganz geschlossenen Gang mit dem alten Bau in Verbindung gebracht wurde. Wie mächtig dieser Neubau in die Erscheinung tritt gegenüber der ältern Anlage, zeigt das Schaubild (Fig. 212).

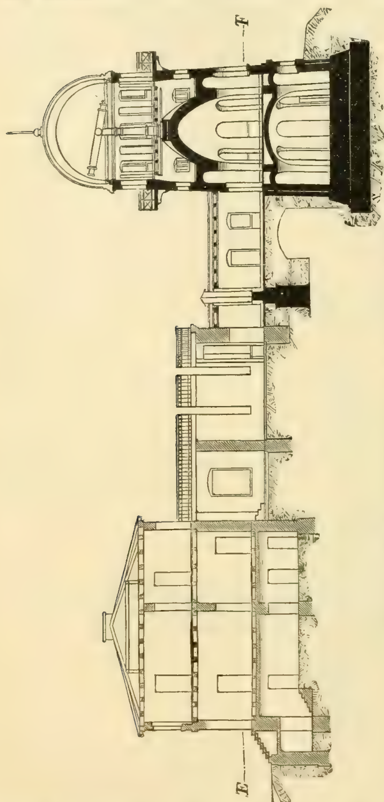


Fig. 211. Die Universitäts-Sternwarte in Königsberg: Schnitt AB.

[1] Vgl. Centralblatt der Bauverwaltung Jahrg. 1896.

Die Anordnung der Sternwarte ist aus dem Lageplan (Fig. 209) und dem Grundriß (Fig. 210) ersichtlich, während Fig. 211 einen Durchschnitt in der Richtung von Ost nach West darstellt. Die östliche Hälfte des ältern Baues enthält in zwei Geschossen neben den unentbehrlichsten Wohnräumen einige Arbeitszimmer der Astronomen. Nach Westen zu sind ein Südzimmer, in welchem auch die Bibliothek untergebracht ist, ein Nordzimmer mit dem darüber befindlichen Heliometer-Drehturm und der — heutigen Ansprüchen nicht mehr ganz genügende — Meridiansaal mit zwei durchgehenden Nordsüdspalten und den beiden vierzölligen Meridianinstrumenten von Repsold und Reichenbach angeschlossen, deren ersteres Repsold 1896 mit einem neuen Registriermikrometer versehen hat. Diese Räumlichkeiten sind eingeschossig und mit flachem Dach überdeckt, welches als Plattform vom Oberstock zugänglich ist und zu Beobachtungen mit transportablen Instrumenten u. dgl. dient. Für Beobachtungen im ersten Vertikal ist zwischen Meridiansaal und Nordzimmer ein kleiner Raum nachträglich angebaut worden. Weiter nach Westen liegt der neue Refraktorturm:

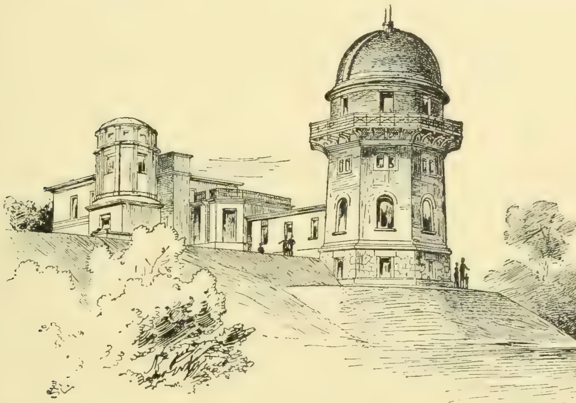


Fig. 212. Die Universitäts-Sternwarte in Königsberg: äußere Ansicht.

derselbe ist behufs Gewinnung der nötigen Erschütterungsfreiheit, die in dem ältern Bau nicht genügend erreicht war, auf eine 2,70 m dicke, durchgehende Fundamentplatte gestellt. An Stelle eines besonders isolierten Festpfeilers für den Refraktor ist nach dem Vorbilde von Potsdam und Straßburg sowie nach den dort gemachten günstigen Erfahrungen die äußere und innere, nach der Mitte zu geneigte Ringwand des Turmes durch zweckmäßig angeordnete Gewölbe von elliptischer und parabolischer Form zu einer außerordentlich breitfüßigen und standsichern Mauermasse gestaltet worden, wodurch die Aufstellung des großen Instrumentes vorzüglich vorbereitet ist. Keller und Erdgeschoß dienen zur Anstellung gewisser Beobachtungen und zur Unterbringung von Instrumentensammlungen ꝛc. Der Kuppelraum hat als Fußboden einen sogen. Schwebeboden von Holz auf Eisenträgern erhalten und ist mit einer Drehkuppel, ähnlich wie beim Potsdamer photographischen Refraktor, überdeckt; die äußere Kuppeldeckung ist aber gegen die innere so viel überhöht, daß der hohle Zwischenraum nicht ab-, sondern zunimmt, damit ein genügend starker Luftstrom nach

dem Zenith hin aufsteigen und dort hinausgehen kann, ohne daß schädliche Temperaturdifferenzen mit ihren Strahlungen und Wallungen, welche die Deutlichkeit und Ruhe der Fernrohrbilder beeinträchtigen, sich bemerklich machen können.

Der Kuppelspalt läßt sich, um auch Zenithbeobachtungen zu ermöglichen, über den Scheitel hinaus öffnen und durch einen Schieber, welcher über die andere Kuppelhälfte hinübergeschoben werden kann, sicher und dicht verschließen. Die Ausführung der eisernen Kuppelkonstruktion rührt von C. Hoppe in Berlin her und erforderte etwa 12500 Mark. Der dreizehnzöllige Refraktor wird in den optischen Teilen von Reinfelder & Hertel in München zum Preise von 10000 Mark geliefert, während die parallaktische Montierung von A. Repsold & Söhne in Hamburg mit einem Kostenaufwande von ca. 23300 Mark angefertigt wird. Die Beleuchtung des Refraktorturmes soll durch Gasglühlicht erfolgen. Rings um den Beobachtungsraum zieht sich auf Steinkonsolen eine steinerne Gallerie für Beobachtungen mit bloßem Auge wie mit Kometensuchern und andern tragbaren Instrumenten.

Der neue Verbindungsgang ist noch mit einer Nordsüdspalte versehen, unter welcher auf besonderem Festpfeiler noch ein Durchgangsinstrument Aufstellung finden soll.

Somit wird der Königsberger Sternwarte jetzt eine instrumentale Ausrüstung gewährt, welche sie aus der wenig beneidenswerten Lage, hinter vielen Schwesterinstituten mindern Rufes zurückstehen zu müssen, voraussichtlich auf lange Zeit hinaus befreit.

Neununddreißigstes Kapitel.

Geschichtliche Bemerkungen.

Mit den prächtig ausgerüsteten Sternwarten der Neuzeit verglichen, mit ihren Riesenrefraktoren, photographischen und spektroskopischen Apparaten, ihren äußerst genauen, einander aus weiter Ferne lenkenden elektrischen Uhrwerken zusammengehalten, waren die Beobachtungswerkzeuge der vorchristlichen Zeit und auch noch des Mittelalters armselige Notbehelfe; und auch jenes mächtigste aller Instrumente, die Rechnung, wurde damals noch in bescheidenen Formen gehandhabt, während die Geometrie von den Gelehrten der griechischen Zeit schon früh zu bedeutender Höhe gebracht wurde.

Alle Völker, die überhaupt in der Geschichte des Menschengeschlechtes dauernd etwas bedeuten, haben wenigstens zu irgend einer Zeit ihr Bestes an die Förderung der Himmelskunde gesetzt, und es ist wohl nicht zu bezweifeln, daß den Männern, welchen durch die Aufgaben der Nautik, der Landesvermessung, der ritualen Festrechnung und selbst des Aberglaubens auf die Beobachtung des Sternenlaufes hingewiesen wurden, mehr oder weniger deutlich der Gedanke die Erfüllung ihrer mühevollen Pflicht erleichterte, daß sie nicht nur für ihre Nation, sondern für die ganze Menschheit arbeiteten, daß sie Schätze sammelten, deren Hebung spätern Zeiten obliegen sollte, daß sie sich eins wußten mit den vor ihnen dahingegangenen Denkern und den Besten aus den noch ungeborenen Geschlechtern, eins in dem Streben nach Förderung der edelsten Wissenschaft. Die Solidarität

und Allgemeinheit des wissenschaftlichen Gedankens, seine Erhabenheit über räumliche und zeitliche Grenzen ist in keiner Wissenschaft so zeitig hervorgetreten wie in der Astronomie.

Wie die astronomischen Forschungen aller Zeiten und Völker durch Wechselbeziehungen zusammenhangen, so verknüpft zu jeder Zeit ein zweites Band die Himmelskunde mit ihren Hilfswissenschaften, in erster Linie mit der Mathematik, der Physik und der Technik. Zwar ist die Mathematik eine Wissenschaft, die ihre Berechtigung in sich selbst trüge, auch wenn kein Himmel ihren Formeln zur Bestätigung und Bethätigung diente. Aber von der Astronomie hat sie beständig die wertvollsten Anregungen zu neuer Erweiterung bekommen. Dasselbe gilt von der Mechanik, der Optik und der Chemie. Wie sehr die technischen Fertigkeiten zum Fortschritte der Wissenschaft nötig sind, zeigt ein Blick auf die Fernrohre in ihren gewaltigen Domen, mit ihren achromatischen Gläsern von vorausberechneter chemischer Zusammensetzung, von vorausberechneter, aufs genaueste abgeschliffener und geprüfter Form, mit ihren Uhrwerken und Mikrometerschrauben. Aber auch andere technische Arbeitszweige stellt die Himmelskunde in ihren Dienst. Hier ist ein ganzer Fußboden hydraulisch beweglich gemacht[1], um die Beobachtung an einem großen Fernrohr in verschiedenen Stellungen erleichtern zu können, dort[2] schwimmt eine haushohe Kuppel in einem runden Troge; hier muß der elektrische Strom die Durchgänge der Sterne registrieren, dort auf einen Druck hin die Skalen des Instrumentes beleuchten oder Chemikalien in Glutzustände versetzen, die einen Schluß auf die Erscheinungen im Weltall gestatten.

Die alten Zeiten, denen alle diese Hilfsmittel fehlten, denen auch die graphischen Künste, vom Bücherdrucke bis zur Photographie, noch nicht zu Gebote standen, ohne welche man sich heute keine umfangreiche wissenschaftliche Thätigkeit denken kann, hatten gleichwohl manchen Vorteil vor den unsrigen, wo jeder größere Knabe seine Taschenuhr hat, sich also um den Sonnenstand nicht zu kümmern braucht, und wo allein in Deutschland alljährlich wohl mehr als hundert Millionen Exemplare von Kalendern aller Art erscheinen, um die richtige Tageszählung in unsern verwickelten Lebensverhältnissen zu sichern. Damals wurde auch der Landmann, nicht bloß der Schiffer, schon durch seinen Beruf auf genaue Beobachtung des täglichen und jährlichen Himmelslaufes hingewiesen. Als ein Wunderwerk hätte man damals die Weckeruhr mit regulierbarem Gange ansehen müssen, die jetzt in mancher Dachkammer steht und bei etwaigen Beschädigungen weggeworfen wird, weil ein neues Stück wohlfeiler ist als die Reparatur; als ein

---

[1] In Mount Hamilton und auf der Urania-Sternwarte zu Berlin.

[2] In Nizza, siehe oben S. 593.

Wunderwerk auch die drehbare Sternkarte oder den kleinen Rohrbachschen Himmelsglobus; aber man konnte sich trotz des Fehlens solcher Lehrmittel am Himmel leichter zurechtfinden, als es in unserer Zeit den meisten Menschen möglich ist; man achtete auf die heliakischen Auf- und Untergänge der hellen Fixsterne, weil sie mit dem Wechsel der Jahreszeiten auch die Stürme ankündigten, die uns jetzt bequemer und auch pünktlicher von Hamburg her drahtlich gemeldet werden. Zahlreiche Stellen bei den klassischen Dichtern, auch bei solchen, die, wie der liebenswürdige Bonvivant Horaz, vor der entsagungsreichen Astronomie selbst einen gründlichen Abscheu hegen mochten[1], zeugen von großer Vertrautheit mit jenen heliakischen Erscheinungen, die offenbar auf die regelmäßigen Beobachtungen des Landvolkes zurückzuführen ist. Wenn neuere Dichter und Künstler dem Himmel Aufmerksamkeit schenken, machen sie dagegen zuweilen merkwürdige Fehler[2].

Die Pyramiden, deren Erbauung man in die Zeit zwischen 3000 und 2400 v. Chr. setzt, sind alle sehr genau orientiert, d. h. mit den vier Dreiecksflächen nach den vier Weltgegenden gerichtet. Einzelne Tempel wurden so gebaut, daß bestimmte Sterne bei der Kulmination an bestimmten Stellen gesehen werden konnten, oder daß das äquinoktiale oder solstitiale Licht der Sonne bestimmte zauberische Effekte hervorrief. Wenn nach langer Zeit die Präcession die Verhältnisse geändert hatte, scheute man nicht die Mühe und Kosten des Umbaues. Das alles setzt eine genaue Bekanntschaft jenes merk-

---

[1] Wenn er (Carm. 1, 11) eine junge Dame vor den babylonischen Zahlen warnte, dann dachte er gewiß nicht nur an die bösen Wirkungen des sterndeuterischen Aberglaubens auf das Mädchenherz, sondern er wollte auch von den Zahlen an sich nichts wissen.

[2] Daß Schiller an dem Abende vor Wallensteins Tode die Mondsichel scheinen läßt, obschon damals (vor Fastnacht) noch nicht Neumond gewesen war, ist natürlich eine berechtigte Licenz (vgl. S. 137). Ärgerlicher ist es schon, wenn auf einem neuern ansprechenden Bilde, das die Scene von Emmaus darstellt, der herannahende Abend (Mane nobiscum Domine, quoniam advesperascit) durch einen Mond angedeutet wird, der trotz des Osterfestes die schönste Sichel zeigt, und dazu trotz des Frühjahrs in vertikaler Stellung. In einem berühmten, zur Zeit Christi spielenden Roman nennt ein Araber seine Pferde nach den hellern Sternen; gewiß recht hübsch: aber der Stern Mira, der erst $1\frac{1}{2}$ Jahrtausende später diesen Namen erhielt, durfte nicht gewählt werden. — A. Daudet läßt in den „Briefen aus meiner Mühle" einen provenzalischen Hirtenknaben in einer schönen Julinacht die Sterne beschreiben; auch Orion und Sirius fehlen dabei nicht, obschon jener erst bei ganz heller Morgendämmerung, dieser sogar nach der Sonne aufgeht. Zum Überfluß macht der Hirtenknabe selbst noch auf die Kürze der Nacht aufmerksam; seine beste Leistung ist aber wohl, daß die Konjunktion zwischen Saturn und dem Morgenstern „alle sieben Jahre" stattfinden soll. Das erinnert denn auch an eine Stelle bei Shakespeare. Der alte Falstaff sitzt bei einem jungen Schenkmädchen; sein Prinz bemerkt dazu nicht übel: „Saturn mit Venus in Konjunktion!" Sehr übel aber bemerkt hierzu ein deutscher Kommentator: „Was nämlich am Himmel niemals vorkommt!"

würdigen Volkes mit dem Himmel voraus. Dafür spricht auch die ägyptische Zeitrechnung. Andererseits hat man in den Bauverhältnissen der Pyramiden vielfach Kenntnisse niedergelegt finden wollen, die erst in viel späterer Zeit gewonnen worden sind, z. B. über die Masse und Dichtigkeit der ♁. An jede größere Zahlenreihe lassen sich Spekulationen knüpfen, die zu einer beliebigen andern Reihe hinüberführen, aber keine Beweiskraft haben. Daß noch andere Fehlschlüsse in Bezug auf das Wissen der Ägypter gemacht werden, haben wir früher (S. 237) gesehen.

Die astronomischen Leistungen der Babylonier sind neuerdings in einer wertvollen Einzeluntersuchung[1] gewürdigt worden, die in schöner Weise das Zusammenwirken der mathematischen Wissenschaft mit der philologischen zeigt. Durch einen sehr reinen Himmel begünstigt, leiteten die chaldäischen Priester, deren einzige Instrumente der Gnomon und die Wasseruhr gewesen zu sein scheinen, die Perioden der Wandelsterne und besonders des Mondes ab; der Saros (S. 293) ist von ihnen entdeckt worden. Chinesische Urkunden verzeichnen schon für 2697 v. Chr. eine Sonnenfinsternis; eine zweite, die man auf 2165 setzt, kam unerwartet, da die Astronomen Hi und Ho die Berechnung versäumt hatten; sie wurden darum von dem Kaiser Tschong Kang mit dem Tode bestraft[2]. Eine um 1100 v. Chr. durch Tschu-Kong vorgenommene Bestimmung der Schiefe[3] lehrt die beständige Abnahme dieses Winkels in Übereinstimmung mit der Theorie, wie denn z. B. auch die aus dem Altertum überlieferten Finsternisse die Mondtheorie, die ägyptischen Bauten und die Bemerkungen der klassischen Dichter über heliakische Aufgänge die Präcession bestätigen.

Unter den Griechen erkannte zuerst Pythagoras die Kugelgestalt des Erdkörpers, den noch Thales, einer der sieben Weisen und bei seinem Volke der erste Vorausverkündiger einer Sonnenfinsternis, für eine schwimmende Scheibe gehalten hatte. Auch die ersten Vermutungen über die planetentragenden Sphären sind auf den großen Samier zurückzuführen. Meton führte (433) den nach ihm benannten Cyklus ein; Eudoxus (408—355) vervollständigte die Sphärentheorie und suchte die scheinbaren Planetenbahnen überhaupt geometrisch zu deuten. Aristoteles legte das geocentrische System für lange Zeit fest; statt der rein mathematischen Sphären der ältern Forscher führte er krystallene Sphären ein, eigentlich ein Rückschritt, aber ein zunächst notwendiger, wenn nicht das ganze Weltsystem nur an dem dünnen Faden der Abstraktion hangen sollte. Sein Schüler Alexander d. Gr. begründete in der nach ihm benannten Stadt

[1] Epping, Astronomisches aus Babylon oder das Wissen der Chaldäer über den gestirnten Himmel. Freiburg, Herder, 1889.

[2] K. Laßwitz hat dieses Ereignis in einer hübschen humoristischen Ballade besungen. [3] Vgl. S. 249.

ein Centrum griechischer Wissenschaft. In Alexandrien wirkten um 300 die Astronomen Aristyllus und Timocharis als Beobachter von Auf- und Untergängen, sowie der Mathematiker Euklides als Begründer des noch heute gültigen, obschon später in seiner Relativität erkannten Systems der elementaren Geometrie[1]. Auf der klimatisch begünstigten[2] Insel Rhodos, vielleicht gelegentlich auch in Alexandrien, beobachtete der unermüdliche Hipparchos, der größte Himmelsforscher der vorchristlichen Zeit (180 bis 125). Man verdankt ihm die Entdeckungen der Präcession der Sterne und der ungleichen Länge der Jahreszeiten, die Einführung der geographischen Länge und Breite und der stereographischen Himmelsabbildung, die Aufstellung eines Kataloges von 1026 Fixsternen, einer Sehnentabelle[3] und einer Sonnenephemeride, endlich die Anfänge der sphärischen Trigonometrie. Claudius Ptolemäus (geb. 87 n. Chr. in Ptolemais, gest. 165 in Alexandrien) war es beschieden, das astronomische Lehrgebäude der Griechen abzuschließen[4]. Sein Handbuch der Himmelskunde, die *Μεγάλη σύνταξις*[5], enthält seine Theorie der Planetenläufe, ferner Sehnentafeln für halbe Grade, geometrische und trigonometrische Sätze (auch den nach ihm benannten) u. s. w. Gegen 200 n. Chr. begann sich die griechische Sternkunde und Sterndeuterei nach Indien zu verbreiten, wo man sich bereits früher erfolgreich mit der Mathematik und Astronomie beschäftigt hatte. Die ältern Beobachtungen der Hindu haben nicht denselben Wert wie die der Babylonier, Chinesen und Ägypter, weil man es in Indien liebte, alte Beobachtungen, wie von Planetenkonstellationen, willkürlich auf Grund der Umlaufszeiten zu erfinden, um dadurch andern Völkern einen hohen Begriff von dem Alter des eigenen zu geben.

Theon von Alexandrien (um 370) und seine Tochter Hypatia (375—415) sind die letzten bedeutenden Astronomen der griechischen Zeit. Im 7. Jahrhundert (641) fiel Alexandrien in die Hände des Kalifen Omar; die Stadt hatte damals längst ihre Bedeutung für die Wissenschaft eingebüßt. Der Kalif Almansor erbaute im Jahre 764 Bagdad als ein zweites Centrum exakter Wissenschaft und ließ später ein indisches Werk über Astronomie, das die ältern einheimischen Kenntnisse mit den von den

---

[1] Apollonius (um 200) und Archimedes (287—212) förderten durch ihre mathematischen und physikalischen Arbeiten mittelbar die Himmelskunde, Archimedes auch unmittelbar durch Erbauung eines Himmelsglobus mit hydraulischem Triebwerke.

[2] Hierauf, und nicht auf die Berühmtheit der Insel möchten wir *Horat.*, Carm. 1, 7, 1 beziehen.

[3] Also der ersten trigonometrischen Tafel.

[4] Eine verbreitete Sage ließ ihn aus dem Königsgeschlechte der Ptolemäer stammen, während der Name nur auf die Heimat deutet. Auf Raphaels berühmtem Bilde „Die Schule von Athen" trägt er sogar eine Krone.

[5] Große Aufstellung.

Griechen eingeführten vereinigte, ins Arabische übersetzen. Ebenso verfuhr sein Sohn, Harun al Raschid, bekannt durch seine Beziehungen zu Karl dem Großen[1], mit den wissenschaftlichen Werken der Griechen, und seinem Sohne und Nachfolger Al Mamun gelang es, eine Abschrift der *Μεγάλη σύνταξις* des Ptolemäus zu erbeuten. Er ließ sie gleichfalls übersetzen und verschaffte damit seinem für die mathematischen Erkenntnisgebiete reich begabten Volke die Kenntnis des wichtigsten grundlegenden Werkes der ältern Zeit. Nach dem arabischen Titel wird das Werk des Ptolemäus noch jetzt der Almagést genannt. Auch ließ er (827) mehrere Meridiangrade mit großer Sorgfalt ausmessen. Von den zahlreichen spätern arabischen und vorderasiatischen Forschern nennen wir Albategnius (Al Battani), der die Excentricität der Erdbahn (der scheinbaren Sonnenbahn) genauer bestimmte, die Bewegung der Bahnapsiden (vgl. S. 256) entdeckte und die Funktionen sin (statt der bis dahin benutzten Sehne) und cotan in die Rechnung einführte; den Perser Abd-al-Rahman al Sufi (903—986), der am Hofe zu Bagdad beobachtete und ein noch heute wichtiges Sternverzeichnis (vgl. S. 557) herausgab; endlich den Enkel Tamerlans Ulugh Beigh (1394—1449), der in Samarkand eine Sternwarte errichtete und mit großartigen Meßinstrumenten (Mauerquadranten, Armillarsphären) ausrüstete. Auch kontrollierte er durch neue Beobachtungen die Sternverzeichnisse von Ptolemäus und Al Sufi.

Daß das christliche Mittelalter die Himmelskunde nur wenig gefördert hat, wird ihm häufig zum Vorwurfe gemacht. Will man gerecht sein, so darf man nicht vergessen, daß eine Menge ungünstiger äußerer Bedingungen zusammenwirkten. Die christliche Kultur erblühte in Mitteleuropa, einem damals noch sehr feuchten, waldreichen und unwegsamen Gebiete, das die regelmäßige Himmelsbeobachtung gewiß nicht erleichterte; vor der wichtigen Aufgabe, eine Menge halbwilder Völkerschaften allmählich zu mildern Sitten, zu einer idealen Weltanschauung hinüberzuführen, mußten viele andere Forderungen zurücktreten. Seine philosophische Begabung zeigte das Mittelalter durch den Aufbau des scholastischen Systems mit seiner Menge von Distinktionen und Formulierungen, seinen Schönheitssinn durch Entwicklung eines noch heute nicht übertroffenen Baustils. Wäre das reiche griechische Erbteil, das den Muselmännern in die Hände fiel, dem Benediktiner- oder Dominikanerorden rechtzeitig bekannt geworden, es ist nicht zu bezweifeln, daß es dann fleißig benutzt worden wäre. Die Araber haben doch wahrhaftig nicht von vorn anzufangen brauchen, wenn auch zuzugeben ist, daß sie, durch ihr Klima und auch wohl durch die in christlichen Gebieten

[1] Auch Karl, der durch Alkuin eine gelehrte Gesellschaft gründen ließ, interessierte sich für astronomische und chronologische Arbeiten.

weniger bekannte Koncentrierung von Macht und Reichtum[1] begünstigt, aus eigenen Mitteln die alten Schätze treulich vermehrt haben.

Die „Sphärik“ oder die Lehre von den Hauptbewegungen des Himmels bildete übrigens, schon im Interesse der Zeit- und Festrechnung, einen ständigen Lehrgegenstand der Klosterschulen. Weiter mochte man wohl nicht gehen, da gegründete Furcht bestand, daß der astrologische Aberglaube bei Völkern einziehen könnte, bei denen man ohnehin Last genug hatte mit der Ausrottung altüberlieferter Wahnvorstellungen. Im 13. Jahrhundert versuchte König Alfons X. von Castilien, der Weise genannt, dem arabischen Wissen in Spanien Eingang zu verschaffen; er ließ ein neues Handbuch der Astronomie, die Tabulae Alfonsinae ausarbeiten. Seine Entthronung (1284) ließ die Sache wieder stocken, und der natürliche Gegensatz zwischen Gotentum und Arabertum verhinderte überhaupt wohl im allgemeinen den lebhaftern wissenschaftlichen Verkehr. In demselben Jahrhundert, um 1240, verfaßte Johannes a Sacrobosco[2], ein geborener Engländer, Professor der Mathematik in Paris, ein Lehrbuch der Sphärik, das nur die zur Zeit- und Festrechnung unumgänglich nötigen Anfangsgründe enthielt, diese aber auch in so mustergültiger Darstellung, daß es auf dem Gebiete des mathematischen Wissens das langlebigste und meistbenutzte Schulbuch[3] in Europa gewesen ist; es gehört zu den ersten durch den Druck vervielfältigten astronomischen Werken (Ferrara 1472), wurde von einem Didaktiker wie Melanchthon (Wittenberg 1531) unter Anerkennung seines hohen Wertes neu aufgelegt und noch im 17. Jahrhundert fleißig benutzt. Georg von Purbach[4] verfaßte unter dem Titel Theoricae novae planetarum eine tiefer gehende Darstellung der griechischen Epicykeltheorie, die schon 1472 von Regiomontan gedruckt und seit 1485 vielfach kommentiert wurde.

Der allmähliche Fortschritt erklärt sich aus verschiedenen Umständen. Der gelehrte Arzt Gerhard von Cremona[5] (1114—1187) hatte neben vielen andern wissenschaftlichen Werken der Araber auch einen Almagest ins Lateinische übersetzt, der vermutlich auf einem Kreuzzuge erbeutet war. Es ist gewiß eine der merkwürdigsten Fügungen in der Geschichte der Wissenschaften, daß griechische Weisheit auf dem Umwege durch den Islam den christlichen Völkern zugänglich wurde. Das ptolemäische Werk in der Ursprache brachte Kardinal Bessarion 1438 nach Rom, und auf diesem

[1] Ein aufgeklärter Absolutismus wäre in jenen Zeiten in Europa unmöglich gewesen, wo zahlreiche Bräuche und Einrichtungen auch den Mächtigen beengten.

[2] Der Name ist aus John Holywood übersetzt.

[3] Vielleicht sind Euklids Elemente der Mathematik noch mehr benutzt worden; sie sind aber kein Schulbuch, obschon man sie leider lange genug dafür gehalten hat.

[4] Aus Peurbach in Oberösterreich.

[5] Nach anderer Annahme aus Carmona in Andalusien stammend.

Exemplare beruht die bedeutende Epitoma in Almagestum Ptolemaei, die Purbach und Regiomontanus[1] 1496 zu Venedig drucken ließen.

Indem so der Boden für eine wissenschaftliche Auffassung der Himmelserscheinungen mehr und mehr geebnet war und gleichzeitig durch die sich rasch folgenden Entdeckungen neuer Länder die Geister an neue und kühne Gedanken gewöhnt wurden, konnten auch die schon von den Griechen ausgesprochenen und inzwischen vielleicht nie ganz vergessenen heliocentrischen Ideen neues Leben gewinnen. Schon der alexandrinische Gelehrte Aristarchos der Samier (310—250) hatte die beiden Bewegungen der Erde gelehrt und folgerichtig auch die jährliche Fixsternparallaxe für verschwindend gering angesehen[2]. Das christliche Mittelalter hielt sich in den Erfahrungswissenschaften streng an Aristoteles, der die ♁ in die Mitte des Alls gerückt und auch die Physik mit einigen schwer vertilgbaren Irrtümern belastet hatte. Indessen bereitete schon der berühmte Reformator des kirchlichen Lebens, Nikolaus Cusanus[3], einen Umschwung vor, indem er die ♁ als einen Stern unter den Sternen und die Bewegung als ein notwendiges Attribut aller Materie erklärte, womit natürlich die ♁ aus ihrer herrschenden Stellung im All verdrängt war.

Der Frauenburger Domherr Nikolaus Coppernicus, eigentlich Koppernigk oder Köppernik (geb. zu Thorn 1473, Febr. 19., gest. zu Frauenburg im Mai 1543) griff in seinem Werke De revolutionibus den heliocentrischen Gedanken wieder auf und führte ihn mit Hilfe des ältern und neuern Beobachtungsmaterials im einzelnen durch. Einige Fehler der ältern Anschauungsweise, so den excentrischen Kreis und für gewisse Ungleichheiten sogar den Epicykel, behielt er bei, zeigte aber, daß sich die Beobachtungen unter der Annahme erklären ließen, daß die ♁ in einem Sterntage rotiere und in einem siderischen Jahre um die ☉ laufe, und daß die Planeten gleichfalls um die ☉ kreisten in Zeiten, die gleich den früher angenommenen Umlaufszeiten der Epicykel in den Deferenten waren. Die Unveränderlichkeit der Lage der Erdachse in kurzen Zeiträumen glaubte er durch eine konische Bewegung dieser Achse erklären zu sollen; schon Galilei erkannte diese An-

[1] Johannes Müller, aus der Nähe von Königsberg in Unterfranken stammend, daher Regiomontanus, lebte von 1436 bis 1476, wo er in Rom starb. Ein Wunderkind, wurde er mit zwölf Jahren in Leipzig immatrikuliert und mit sechzehn Jahren von Purbach zum Gehilfen erwählt. Der Nürnberger Patrizier Bernhard Walther erbaute ihm eine Sternwarte und arbeitete auch mit ihm gemeinsam an der Verbesserung der Buchdruckerkunst. Regiomontans Ephemeriden haben den Länderentdeckern zu Ende des 15. Jahrhunderts große Dienste geleistet.

[2] Man verdankt ihm auch die Anweisung, Entfernung und Größe des ☾ aus der Parallaxe zu bestimmen; seine Methode der Bestimmung der ☉-Parallaxe aus der Elongation der halb beleuchteten ☾-Scheibe ist theoretisch interessant, praktisch aber nicht durchführbar.

[3] Aus Cues an der Mosel, 1401—1464, zuletzt Kardinal.

nahme als überflüssig. Das Werk des Coppernicus ist dem Papste Paul III. gewidmet. Den Druck veranlaßte des Verfassers Freund Rhäticus, der die Korrekturen durch den lutherischen Prediger Osiander (Hoßmann) in Nürnberg erledigen ließ. Dieser hielt es für nötig, das Vorwort des Coppernicus durch eine selbstverfaßte Zuschrift zu ersetzen, worin der ganze Inhalt als rein hypothetisch, als eine mathematisch mögliche Erklärungsweise hingestellt wurde, während der Verfasser selbst von der thatsächlichen Richtigkeit seiner Annahmen überzeugt war.

Vielleicht ist es neben den äußern Verhältnissen auch diese scheinbar von Coppernicus selbst begangene Halbheit gewesen, die dem neuen System den Eingang erschwerte. An den Universitäten mußte nach wie vor das ptolemäische System gelehrt werden; einzelne Lehrer mochten sich begnügen, ihre begabtern Schüler „privatissime“ in die neue Lehre einzuführen, wie Mästlin (geb. 1550, gest. 1631) den Kepler.

Von den vermittelnden Systemen ist das des großen Beobachters Tycho Brahe (1546—1601) am bekanntesten geworden, der die Planeten um die ☉ und diese um die ♁ laufen ließ, während die tägliche Bewegung dem Himmel verblieb. Unabhängig von ihm lehrte Reimarus Ursus Ditmarsus (Reymers aus Dithmarschen, etwa 1550—1600) dasselbe System, ließ jedoch die ♁ rotieren. Es blieb Galileo Galilei (geb. zu Pisa 1564, Febr. 18., gest. zu Arcetri 1642, Jan. 8.) vorbehalten, die dringend notwendigen physikalischen Beweise für die Vereinbarkeit der Rotation der ganzen ♁ mit den auf ihr stattfindenden Bewegungen beizubringen. Zuerst Mathematiker in seiner Heimat, gab er hier 1592 sein Lehramt auf infolge der Streitigkeiten, die ihm seine Polemik gegen die Irrtümer der aristotelischen Physik zuzog. Er erlangte aber dann die Professur zu Padua, wo er auch seine vielen wichtigen Entdeckungen mit dem Fernrohr (vgl. S. 348. 416. 495) machte. Es war ein schwerer Fehler, daß er später die Stellung unter dem Schutze der mächtigen Republik Venedig wieder aufgab und sich dem schwachen Großherzog Cosimo in seiner Heimat von neuem anvertraute. Die Angriffe der auf dem Boden der alten Weltanschauung stehenden Geistlichkeit wurden heftiger, und es erschien (1616, Febr. 24.) das Gutachten einer von Papst Paul V. niedergesetzten Kommission, welches die von Galilei hochgehaltene coppernicanische Lehre für absurd und schriftwidrig erklärte. Infolge dieses Gutachtens wurden die „Revolutionen“ des Coppernicus auf den Index der verbotenen Bücher gesetzt, und Galilei durfte das System nicht mehr öffentlich verteidigen. Man wird es erklärlich finden, daß er in seinem „Gespräch über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das coppernicanische“ (Florenz 1632) zu einem bedenklichen Auskunftsmittel griff: durch zwei der auftretenden Disputanten, Salviati und Sagredo, läßt er seine schönen physikalischen Beweise in mustergültiger

Form vertreten, der dritte, Simplicio, schon durch diesen Namen und noch mehr durch seine Beweisführungen als Vertreter einer beschränktern Ansicht gekennzeichnet, wird regelmäßig widerlegt, behält aber zuletzt immer recht, weil er mit der Heiligen Schrift und dem Aristoteles übereinstimmt. Auch der harmloseste Leser mußte einsehen, wie das gemeint war. Das Buch hatte für seinen Verfasser, für die Wissenschaft und die Kirche die traurige Folge, daß Galilei vor die Inquisition geladen, in der Basilica Maria sopra Minerva zu einer förmlichen Abschwörung seiner Lehren gezwungen und später noch streng beaufsichtigt wurde. Wenn auch die körperlichen Qualen, die der Siebzigjährige bei dem Prozesse erduldet haben soll, in der Hauptsache als Erfindungen nachgewiesen sind gleich dem verzweifelten Rufe: E pur si muove![1], den er nach der Abschwörung ausgestoßen haben soll, so ist, was übrig bleibt, noch immer der verhängnisvollste Mißgriff, den die kirchliche Verwaltung jemals der Wissenschaft gegenüber begangen hat. Das hohe Ansehen, dessen sich die aristotelische Philosophie bei der Kirche mit Recht erfreute, kam auch seiner veralteten und in einzelnen Punkten durch die einfachsten Beobachtungen widerlegbaren Physik zu gute. Man glaubte vielfach, die wohlgefügte Metaphysik werde mitbedroht durch Angriffe gegen die gebrechliche Physik, und außerdem war zu einer Zeit, die das Trägheitsgesetz als ausgesprochene Wahrheit noch nicht kannte — auch Galilei hat es noch nicht in aller Schärfe formuliert — die Vereinbarkeit der Rotation mit der Ordnung der Dinge auf der ♁ selbst nur schwer begreiflich. Es waren deshalb nicht die schlechtesten Naturforscher, die sich gegen die Rotation wehrten; man denke an Tycho. Da ferner einzelne Stellen der Heiligen Schrift geocentrisch reden, so mochten in einer so wild bewegten Zeit, wo die Bibel als Beweis für alles mögliche, selbst für die Berechtigung persönlicher Invektiven herhalten mußte, viele einem anscheinend schriftwidrigen Weltsystem gegenüber stutzig werden. Zu ihnen gehörte Melanchthon, der anfangs dem Werke des Coppernicus wohlmeinend gegenüberstand, während Luther sofort in schärfster Weise seine gegenteilige Meinung äußerte.

In ruhigern Zeiten hätte sich vielleicht die coppernicanische Weltansicht leichter und schneller Bahn gebrochen trotz der hohen Anforderungen, die sie zunächst an die Abstraktionskraft des Menschen stellte[2]. Die katholische

[1] „Und sie bewegt sich doch!" Die schon aus innern Gründen höchst unwahrscheinliche Nachricht ist von Heis als spätere Erfindung in aller Strenge nachgewiesen worden (Annales de la Soc. scientifique de Bruxelles 1876).

[2] „Wie wohl war es", sagt F. A. Lange in seiner Geschichte des Materialismus (5. Aufl. S. 69—70), „unsern Vorfahren in dem geschlossenen Ring des sich ewig umwälzenden Himmelsgewölbes auf ihrer ruhenden Erde, und welche Zuckungen rief der scharfe Luftzug hervor, der aus der Unendlichkeit hereindrang, als Coppernicus diese Hülle sprengte!"

Kirche war aber im 16. und 17. Jahrhundert in der schwierigen Lage, einen lange anerkannten Besitzstand auf den verschiedensten Punkten verteidigen zu müssen. Wenn auch die coppernicanische Lehre gegen keinen Glaubenssatz verstieß — es muß das betont werden, weil man wohl gar ausgesprochen hat, die Kirche hätte sich später zur Zurückziehung ihrer Dogmen bequemen müssen —, so verstieß sie doch gegen die wörtliche Schriftauslegung, die nach einem an sich berechtigten Grundsatze möglichst lange aufrecht erhalten wird, und, wie erwähnt, auch gegen die Autorität des heidnischen Philosophen, den man als einen der erleuchtetsten vorchristlichen Denker zu verehren gewohnt war. Erwägt man ferner, daß gerade die wissenschaftlich weniger bedeutenden Gegner Galileis Vorwände dieser Art besonders geschickt an den leitenden kirchlichen Stellen anzubringen wußten, während seine freimütige, vielfach überlegene und ironische Sprache einen friedlichen Ausgang erschwerte, so wird die unwürdige Scene in der Minervakirche erklärlicher, wodurch die kirchliche Behörde, wenn auch nicht das hiervon durchaus unberührte kirchliche Lehramt, vor der wissenschaftlichen Welt in unnötiger Weise bloßgestellt worden ist. — Die coppernicanischen Bücher wurden erst 1821, als ihr Verbot in Wahrheit längst veraltet war, förmlich vom Index gestrichen.

Johannes Kepler (geb. 1571, Dez. 27. zu Weil der Stadt, gest. 1630, Nov. 15. zu Sagan) ist durch seine zähe Ausdauer beim Studium der Naturgesetze, durch seine hartnäckige Überwindung äußerer Schwierigkeiten ebenso berühmt geworden wie durch seine persönliche Liebenswürdigkeit und Bescheidenheit, mit der er wohlthuend gegen Galilei und Tycho absticht. Man verdankt ihm die früher (S. 191 ff.) besprochenen drei Bewegungsgesetze, die Beobachtungen einer Nova (S. 558), geistreiche Bemerkungen über Kometen und, in seiner Dioptrik, den Konstruktionsgedanken für das astronomische Fernrohr. David Fabricius machte sich (1596) u. a. durch Entdeckung der Mira (S. 545) verdient, sein Sohn Johannes Fabricius durch Entdeckung der Sonnenflecken (S. 333), woran auch Chr. Scheiner (ebenda), der Gegner Galileis, beteiligt ist.

Die ersten Jahrzehnte des 17. Jahrhunderts brachten auch die Erfindung der wichtigen Hilfsmittel der Logarithmen (durch Bürgi und Briggs) und der analytischen Geometrie (durch Cartesius). Huygens (1629—1695) bearbeitete die Wellenlehre des Lichtes, stellte die Gestalt des Saturnsringes fest, entdeckte den ersten Saturnsmond und führte die Pendelhemmung bei der Uhr ein (S. 318. 426. 589). Durch Entdeckung der periodischen Verfrühungen und Verspätungen in den Finsternissen der Jupitersmonde bereitete Römer (1644—1710; vgl. S. 178) den optischen Beweis für die Richtigkeit des coppernicanischen Systems vor. — Giovanni Domenico Cassini (1625—1712), der Ahnherr einer ganzen Dynastie

von Astronomen, entdeckte das Zodiakallicht, die Rotation des ♃ und vier Satelliten des ♄. Newton (geb. 1642, Dez. 25. a. St. zu Whoolstorpe, gest. 1727, März 31. a. St. zu London) erfindet die Infinitesimalrechnung[1], fördert die Optik durch wichtige Beobachtungen und Rechnungen, nicht ohne in einzelnen Punkten Irrtümer zu begehen, und entdeckt das Gesetz der allgemeinen Schwere. Grundlegend sind seine Philosophiae naturalis principia mathematica (1687). Sein Spiegelfernrohr (S. 578) konstruierte er im Jahre 1671. — Flamsteed (1646—1719) lieferte in der Historia coelestis britannica (1712, 1725) das erste große Sternverzeichnis (S. 37) nach Erfindung des Fernrohres; Halley (1656—1742) berechnete den nach ihm benannten Kometen, deutete die Wichtigkeit der Venusdurchgänge an und lieferte einen Katalog von südlichen Sternen.

Das 18. Jahrhundert war der weitern Ausbildung der mathematischen Methoden auf Grund des Gravitationsgesetzes und der teleskopischen Messungsweisen gewidmet. Von den bedeutendsten Forschern können wir nur wenige hier nennen. James Bradley (1692—1762) entdeckte und erklärte die jährliche Aberration der Fixsterne (S. 181 ff.) und stellte zahlreiche Meridianbeobachtungen an, die noch den jetzigen Annahmen über Präcession und Eigenbewegung großenteils zu Grunde liegen. Leonhard Euler (1707 bis 1783), einer der bedeutendsten Mathematiker aller Zeiten, förderte die Theorie der Bahnbestimmung durch viele wertvolle Abhandlungen, beschäftigte sich mit der Natur der Kometen und bewies aus dem Bau der menschlichen Augen die Möglichkeit der Achromasie (vgl. S. 579). Der Weise von Königsberg, Immanuel Kant (1724—1804), hat sich durch seine kosmogonischen Betrachtungen einen Platz in der Geschichte der Astronomie gesichert. Frankreich lieferte in Lacaille (1713—1762) und Lalande (1732—1807) ausgezeichnete Fixsternbeobachter, in Lagrange[2] (1736 bis 1813) und Laplace (1749—1827) bedeutende Analytiker, die sich um die Mechanik des Himmels die größten Verdienste erwarben. Friedrich Wilhelm Herschel (1738—1822), geboren zu Hannover als Sohn eines Musikers, ergriff anfangs in England denselben Beruf, um leben zu können. Für die Wissenschaft begeistert und in mechanischen Künsten bewandert, erbaute er seine mächtigen Spiegelfernrohre (S. 579) und benutzte sie hauptsächlich zur Durchforschung des Fixsternhimmels (S. 523), immer getreulich unterstützt von seiner Schwester Karoline Herschel (1750—1848), die sich auch durch Kometenentdeckungen und andere eigene Arbeiten verdient machte. Die Entdeckung des ♅ (S. 438) verschaffte Herschel mit einem königlichen Jahrgehalte die Möglichkeit, ganz der

[1] Unabhängig von ihm erfand sie auch der deutsche Philosoph Leibniz.

[2] L. war allerdings geborener Turiner.



Fig. 213. Karl Friedrich Gauß.

Himmelskunde zu leben. Sein Sohn John Herschel (1792—1871) wirkte in seinem Sinne weiter.

Am Beginne des 19. Jahrhunderts steht die Entdeckung der Ceres durch Piazzi (1746—1826), den eifrigen Beobachter der Fixsternörter und Verfasser eines bedeutenden Sternverzeichnisses (vgl. S. 402). Der Entdecker der Pallas und Vesta, der bremische Arzt Wilhelm Olbers (1758 bis 1840), ist auch durch seine einfache Methode der Berechnung der Kometenbahnen und andere Arbeiten bekannt geworden. Durch ihn wurde Friedrich Wilhelm Bessel (geb. 1784 zu Minden, gest. 1846 zu Königsberg) der Wissenschaft gewonnen; er ist der ausgezeichnetste Beobachter des 19. Jahrhunderts gewesen, aber auch ein bedeutender Theoretiker. Man verdankt ihm u. a. die erste Bestimmung einer Fixsternparallaxe, der von 61 Cygni (S. 188). Wie Bessel alle Zweige der beobachtenden und rechnenden Astronomie beherrschte, so hat Karl Friedrich Gauß, der princeps mathematicorum (geb. 1777, April 30. zu Braunschweig, gest. 1855, Febr. 23. in Göttingen, sieh Fig. 213), neben der reinen Mathematik alle ihre Anwendungen in der Physik und Astronomie gefördert. Diese verdankt ihm neben der indirekten Bereicherung durch die mathematischen, geodätischen und erdmagnetischen Leistungen und durch die

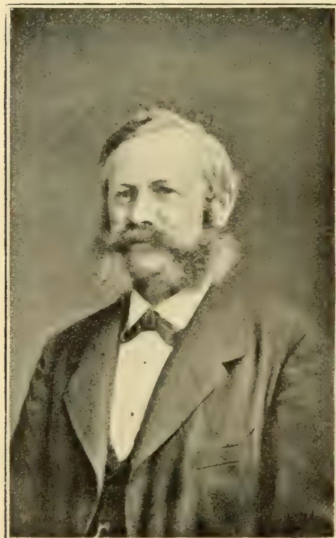


Fig. 214. E. Schönfeld.

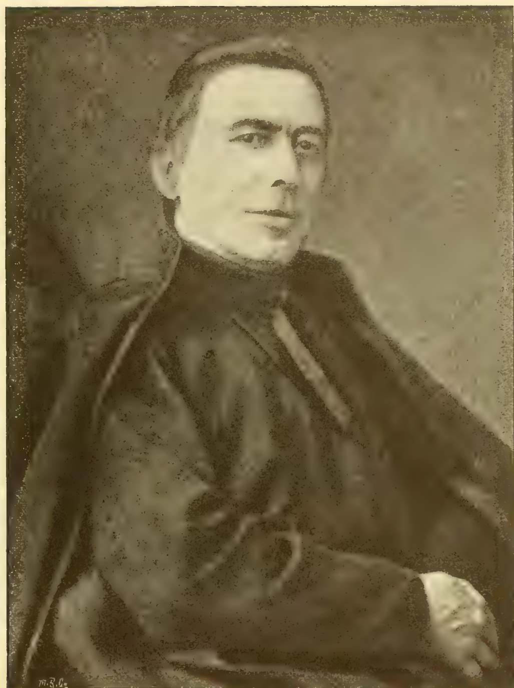


Fig. 215. P. Angelo Secchi S. J.

Erfindung des elektrischen Telegraphen zunächst die Ausgleichungsrechnung, welche unter dem Namen der Methode der kleinsten Quadrate bekannt ist[1], dann die Theoria motus corporum coelestium (1809[2]) und viele weitere Beiträge. Die Stellarastronomie wurde durch Wilhelm und Otto Struve, Mädler u. a. gefördert; der hohen Verdienste von Argelander (1799 bis 1875), Schönfeld (1828—1891; vgl. Fig. 214) und Krüger (1832—1896) haben wir früher (S. 485 ff. 532 ff.) gedacht. Die theoretische Auffindung des ♆ verdankt man Leverrier (1811—1877), der auch die Elemente der ältern Planeten mit größter Genauigkeit feststellte. Encke (1791—1865) ist als Berechner des nach ihm benannten Kometen und auch durch seine Verdienste um das Zustandekommen der Berliner akademischen Karten (S. 405) berühmt. Die Kenntnis des Mondes und des Mars förderten Beer (1797—1850) und Mädler (1794—1874) durch ihre Beobachtungen. Als bedeutendster Theoretiker der Mondbewegung ist Hansen (1795—1874) zu nennen. Ein Polyhistor und eifriger Beobachter der verschiedensten Himmelsobjekte war Julius Schmidt (1825—1884).



Fig. 216. E. Heis.

Die neuen Zweige der Wissenschaft, die die physikalischen Entdeckungen des 19. Jahrhunderts getrieben hatten, werden durch den Jesuiten Secchi (1818—1878; vgl. S. 542 und Fig. 215), den deutschen Astrophysiker Zöllner (1834—1882) und zahlreiche andere deutsche, englische und amerikanische Beobachter vertreten. Henry Draper (1837—1882) photographierte zuerst Fixsternspektra.

Der schönen Aufgabe, die Ergebnisse der Wissenschaft weitern Kreisen zugänglich zu machen und diese für die Mitarbeit am Beobachtungswerke

[1] Der Franzose Legendre (1752—1833) hat diese Methode gleichfalls aufgefunden und im Jahre 1806 veröffentlicht; Gauß war früher (1795) in ihrem Besitze, veröffentlichte sie aber erst nach Legendre.

[2] Das Vorwort datiert von 1809, März 28., während das der grundlegenden Keplerschen Arbeit De motibus stellae Martis mit dem 28. März 1609 gezeichnet ist.

zu gewinnen, unterzogen sich Johann Elert Bode (1742—1826) mit seiner „Anleitung zur Kenntnis des gestirnten Himmels“, Mädler durch seinen „Wunderbau des Weltalls“, J. J. v. Littrow (1781—1840) durch die „Wunder des Himmels“, Arago (1786—1853) durch die ungemein inhaltsreiche und fesselnde Astronomie populaire, Argelander durch seine „Aufforderung“ (vgl. S. 532) und Heis (1806—1877) durch eine langjährige Thätigkeit als Lehrer und Berater wie auch durch eine bedeutende organisatorische Wirksamkeit. Der übrigen Verdienste von Eduard Heis, dessen Bild wir in Fig. 216 bringen, ist an mehreren Stellen dieses Buches (S. 343. 470. 485 ꝛc.) gedacht worden.

Unterstützt durch alle Hilfsmittel der hochentwickelten Mathematik, Physik und Technik, gefördert von den Regierungen und in einzelnen Ländern auch von hochsinnigen Privaten, nimmt die Himmelskunde am Ausgange des 19. Jahrhunderts eine achtunggebietende Stellung unter den Erfahrungswissenschaften ein. Der Seefahrt, der Landesvermessung und der Geschichte ihren starken Arm leihend und allen exakten Wissenschaften wie auch dem vielgestaltigen Leben unserer Tage die so notwendige genaue Zeitbestimmung vermittelnd, knüpft sie andererseits als Königin der Wissenschaften die Erde an den Himmel und erleichtert dem denkenden Geiste den Übergang zu noch höhern Begriffen, die von zeitlichen und räumlichen Schranken frei sind.

Die wichtigsten Himmelserscheinungen vom 1. April 1898 bis zum 31. Dezember 1900.

Nach mitteleuropäischer Zeit.

Neumonde.

1898.				1899.				1900.			
[März	21.	21^h	37^m]	Jan.	11.	11^h	50^m	Jan.	1.	2^h	52^m
April	20.	11	21	Febr.	9.	22	32	„	30.	14	23
Mai	20.	1	58	März	11.	8	53	März	1.	0	25
Juni	18.	17	19	April	9.	19	21	„	30.	9	30
Juli	18.	8	47	Mai	9.	6	39	April	28.	18	23
Aug.	16.	23	35	Juni	7.	19	20	Mai	28.	3	50
Sept.	15.	13	10	Juli	7.	9	31	Juni	26.	14	27
Okt.	15.	1	37	Aug.	6.	0	48	Juli	26.	2	43
Nov.	13.	13	21	Sept.	4.	16	33	Aug.	24.	16	53
Dez.	13.	0	43	Okt.	4.	8	14	Sept.	23.	8	57
				Nov.	2.	23	27	Okt.	23.	2	27
				Dez.	2.	13	48	Nov.	21.	20	17
								Dez.	21.	13	1

Die vorstehende Tafel, aus der sich die Zeiten der Vollmonde und Viertel leicht mit hinreichender Genauigkeit ableiten lassen, steht hier hauptsächlich zur Bequemlichkeit des Lesers, der mit ihrer Hilfe sofort entscheiden kann, mit welchen Phasen die unten angegebenen Konjunktionen des ☾ mit den Planeten zusammentreffen; hieraus ergeben sich die Sichtbarkeitsbedingungen. Zur Berechnung der Mondphasen für andere Jahre beachte man S. 110. 128. 130. 132.

Mond im Perigäum.

1898, Jan. 20,067; 1899, Jan. 11,612; 1900, Jan. 3,246; 1900, Dez. 30,204.

Von den vorstehenden Daten liegen je zwei um 13 anomalistische Monate auseinander. Man wird daraus mit Hilfe des S. 109 angegebenen Wertes auch die zwischenliegenden Perigäen annähernd richtig berechnen können.

Der aufsteigende Knoten der Mondbahn

hat am 1. Januar folgende Länge

1898: 297° 47′ 1899: 278° 14′ 1900: 259° 8′.

Konstellationen.

1898.

April 5. 17h ♃ ☌ ☾
10. 6 ♄ ☌ ☾
10. 14 ☿ E 19
17. 15 ☾ ☌ ♂
21. 16 ☾ ☌ ☿
22. 1 ☾ ☌ ♀
24. 10 ♀ ☊
30. 10 ♂ P
30. 23 ☿ ☌ ☉
Mai 2. 22 ♃ ☌ ☾
7. 13 ♄ ☌ ☾
13. 6 ☿ A
16. 14 ☾ ☌ ♂
18. 10 ☾ ☌ ☿
22. 5 ♅ ☍ ☉
22. 7 ☾ ☌ ♀
27. 16 ♃ St
27. 23 ♀ P
28. 6 ☿ W 25
29. 23 ♄ ☍ ☉
30. 6 ♃ ☌ ☾
Juni 3. 20 ♄ ☌ ☾
12. 20 ♆ ☌ ☉
14. 13 ☾ ☌ ♂
17. 11 ☾ ☌ ☿
20. 23 ☉ im ♋
21. 17 ♀ ☌ ☾
22. 9 ♃ □ ☉
26. 6 ☿ P
26. 16 ♃ ☌ ☾
27. 1 ♃ A
29. 21 ☉ ☌ ☿
Juli 1. 4 ♄ ☌ ☾
2. 3 ♅ A
3. — ☾ F
13. 10 ☾ ☌ ♂
18. — ☉ F
20. 8 ☿ ☌ ☾
22. 0 ♀ ☌ ☾
24. 4 ♃ ☌ ☾
26. 23 ✱ ☌ ☿[1]
28. 11 ♄ ☌ ☾
Aug. 7. 14 ♅ St
8. 16 ☿ E 28
9. 5 ☿ A
Aug. 9. 14h ♄ St
11. 6 ☾ ☌ ♂
13. 23 ♀ ☋
19. 3 ☿ ☌ ☾
19. 7 ♃ ☌ ♀
20. 18 ♃ ☌ ☾
20. 21 ♀ ☌ ☾
22. 6 ♅ □ ☉
24. 18 ♄ ☌ ☾
28. 20 ♄ □ ☉
31. 8 ♂ ☊
Sept. 5. 6 ☿ ☌ ☉
9. 2 ☾ ☌ ♂
14. 10 ☿ ☌ ☾
17. 6 ♀ A
17. 10 ♃ ☌ ☾
19. 8 ♀ ☌ ☾
21. 2 ♄ ☌ ☾
21. 4 ☿ W 18
21. 6 ♀ E 46
22. 5 ☿ P
22. 14 ☉ i. d. ♎
Okt. 7. 18 ♂ ☌ ☾
13. 12 ♃ ☌ ☉
15. 1 ☿ ☌ ☾
15. 4 ♃ ☌ ☾
16. 5 ♃ ☌ ☿
17. 8 ♂ □ ☉
18. 8 ☾ ☌ ♀
18. 11 ♄ ☌ ☾
19. 4 ☉ ☌ ☿
27. 6 ♀ ✱✱✱
Nov. 5. 4 ☿ A
5. 5 ♂ ☌ ☾
10. 23 ♀ St
11. 16 ♅ ☌ ☿
12. 0 ♃ ☌ ☾
14. 16 ☿ ☌ ☾
15. 0 ♄ ☌ ☾
15. 6 ☾ ☌ ♀
19. 21 ☿ ☌ ♀
25. 13 ♅ ☌ ☉
Dez. 1. 6 ♀ ☌ ☉
3. 2 ♂ ☌ ☾
3. 14 ☿ E 21
5. 2 ♀ ☊
Dez. 6. 8h ♄ ☌ ☉
9. 19 ♃ ☌ ☾
10. 7 ♂ St
10. 12 ♀ ☌ ♅
11. 22 ♀ ☌ ☾
12. 16 ♄ ☌ ☾
12. — ☉ F
14. 2 ☾ ☌ ☿
14. 20 ♆ ☍ ☉
19. 4 ☿ P
21. 0 ♀ St
21. 8 ☉ im ♑
21. 11 ☿ ☌ ☉
27. — ☾ F
30. 4 ♂ ☌ ☾
31. 11 ♅ P

1899.

Jan. 5. 20h ♀ ✱✱✱
6. 12 ♃ ☌ ☾
7. 13 ♀ P
8. 15 ♀ ☌ ☾
9. 8 ♄ ☌ ☾
9. 20 ☿ ☌ ☾
11. — ☉ F
11. 15 ☿ W 24
18. 13 ♂ ☍ ☉
25. 13 ♂ ☌ ☾
28. 20 ♃ □ ☉
Febr. 1. 4 ☿ A
3. 0 ♃ ☌ ☾
5. 22 ♄ ☌ ☾
6. 14 ♀ ☌ ☾
9. 2 ☾ ☌ ☿
10. 20 ♀ W 47
21. 6 ♂ ☌ ☾
23. 22 ♃ St
26. 7 ♅ □ ☉
27. 4 ☉ ☌ ☿
27. 4 ♂ St
März 2. 7 ♃ ☌ ☾
5. 8 ♄ ☌ ☾
8. 3 ☾ ☌ ♀
12. 10 ☾ ☌ ☿
12. 15 ♅ St
13. 17 ♄ □ ☉

[1] Der Stern ist Regulus; Abstand vom ☿ kleiner als 0′,5.

März	17.	3h	☿ P
	20.	9	⊙ im ♈
	20.	18	♂ ☌ ☾
	24.	12	☿ E 19
	26.	16	♀ ☋
	29.	10	♃ ☌ ☾
April	1.	15	♄ ☌ ☾
	2.	1	♄ St
	6.	22	☾ ☌ ♀
	8.	19	♂ A
	10.	3	☾ ☌ ☿
	11.	21	☿ ☌ ⊙
	17.	21	♂ ☌ ☾
	23.	7	♂ □ ⊙
	25.	8	♃ ☍ ⊙
	25.	12	♃ ☌ ☾
	28.	20	♄ ☌ ☾
	29.	20	♀ A
	30.	3	☿ A
Mai	6.	18	☾ ☌ ♀
	7.	11	☾ ☌ ☿
	9.	17	☿ W 26
	16.	8	♂ ☌ ☾
	22.	15	♃ ☌ ☾
	26.	1	♄ ☌ ☾
	27.	3	♅ ☍ ⊙
Juni	5.	15	☾ ☌ ♀
	7.	2	☾ ☌ ☿
	7.	—	⊙ F
	11.	3	♄ ☍ ⊙
	13.	3	☿ P
	13.	23	♂ ☌ ☾
	14.	8	⊙ ☌ ☿
	15.	10	♆ ☌ ⊙
	18.	22	♃ ☌ ☾
	21.	5	⊙ im ♋
	22.	8	♄ ☌ ☾
	23.	—	☾ F
	27.	17	♃ St
Juli	3.	22	♁ A
	5.	16	☾ ☌ ♀
	9.	16	☿ ☌ ☾
	12.	16	♂ ☌ ☾
	16.	7	♃ ☌ ☾
Juli	17.	19h	♀ ☊
	19.	15	♄ ☌ ☾
	22.	0	☿ E 27
	24.	2	♃ □ ⊙
	27.	2	☿ A
Aug.	5.	1	♀ ☌ ☾
	7.	17	☿ ☌ ☾
	10.	9	♂ ☌ ☾
	12.	11	♅ St
	12.	19	♃ ☌ ☾
	15.	23	♄ ☌ ☾
	18.	22	☿ ☌ ⊙
	20.	4	♀ P
	21.	10	♄ St
	27.	4	♅ □ ⊙
Sept.	3.	4	☿ ☌ ☾
	4.	15	♀ ☌ ☾
	4.	20	☿ W 18
	8.	2	♂ ☌ ☾
	9.	2	☿ P
	9.	8	♃ ☌ ☾
	9.	21	♄ □ ⊙
	12.	7	♄ ☌ ☾
	15.	21	⊙ ☌ ♀
	18.	2	♂ ☋
	19.	18	♆ □ ⊙
	22.	19	⊙ i. d. ♎
	29.	20	♆ St
	30.	17	⊙ ☌ ☿
Okt.	4.	19	☿ ☌ ☾
	5.	0	♀ ☌ ☾
	6.	19	♂ ☌ ☾
	6.	23	♃ ☌ ☾
	9.	15	♄ ☌ ☾
	10.	0	♀ ☌ ☿
	11.	6	♃ ☌ ♂
	23.	2	☿ A
	25.	5	♃ ☌ ☿
	26.	7	♀ ☌ ✱[1]
	29.	14	♃ ☌ ♀[2]
Nov.	3.	16	♃ ☌ ☾
	3.	20	♂ ☌ ♀
	4.	2	♀ ☌ ☾
	4.	13	♂ ☌ ☾
Nov.	4.	14h	☾ ☌ ☿
	6.	1	♄ ☌ ☾
	6.	9	♀ ☋
	12.	21	♃ ☌ ⊙
	12.	22	♅ ☌ ♂
	14.	6	♅ ☌ ♀
	16.	1	♀ ☌ ♂
	16.	5	☿ E 22
	26.	0	♀ ☌ ☿
	27.	10	♄ ☌ ♀
	30.	5	♅ ☌ ⊙
	30.	10	☿ ☌ ♂
Dez.	1.	11	♃ ☌ ☾
	2.	—	⊙ F
	3.	2	☿ ☌ ☾
	3.	10	☾ ☌ ♂
	3.	14	♄ ☌ ☾
	4.	3	☾ ☌ ♀
	5.	18	☿ ☌ ⊙
	6.	1	☿ P
	6.	13	♄ ☌ ♂
	10.	14	♀ A
	16.	—	☾ F
	17.	6	♆ ☍ ⊙[3]
	17.	18	♄ ☌ ⊙[3]
	21.	14	⊙ im ♑
	25.	2	☿ W 22
	29.	7	♃ ☌ ☾
	30.	12	☿ ☌ ☾
	31.	5	♄ ☌ ☾

1900.

Jan.	1.	10h	☾ ☌ ♂
	1.	19	♁ P
	3.	5	☾ ☌ ♀
	7.	14	♄ ☌ ☿
	15.	18	♂ ☌ ⊙
	19.	1	☿ A
	26.	2	♃ ☌ ☾
	27.	21	☾ ☌ ♄
	30.	4	☾ ☌ ☿
	30.	11	☾ ☌ ♂
Febr.	2.	3	☾ ☌ ♀
	3.	3	♂ ☌ ☿

[1] ✱ *α* Librae. Abstand 6′. [2] Abstand 33′.

[3] Also Dez. 17. 12h nahezu ♆ ♁ ⊙ ♄ in gerader Linie; Tags zuvor, wo die Sache weniger stimmt, ist noch der Mond, der 14h 31m voll wird, zwischen ♆ und ♁ einzuschalten. Wahre Entfernungen sehr verschieden!

Febr.	9.	10h	☉ ☌ ☿
	22.	17	♃ ☌ ☾
	24.	11	☾ ☌ ♄
	27.	12	♀ ☊
	28.	7	♃ □ ☉
	28.	12	☾ ☌ ♂
März	2.	7	☾ ☌ ☿
	2.	23	♅ □ ☉
	3.	21	☾ ☌ ♀
	4.	0	☿ P
	5.	8	♆ St
	8.	0	☿ E 18
	14.	19	♆ □ ☉
	17.	9	♅ St
	18.	8	♂ P
	20.	15	☉ im ♈
	22.	2	♃ ☌ ☾
	23.	21	☾ ☌ ♄
	24.	16	☿ ☌ ☉
	25.	9	♃ □ ☉
	27.	12	♃ St
	29.	11	☾ ☌ ♂
	29.	20	☾ ☌ ☿
April	1.	21	♀ P
	2.	14	♀ ☌ ☾
	3.	4	☿ ☌ ♂
	13.	20	♄ St
	17.	0	☿ A
	18.	6	♃ ☌ ☾
	20.	4	☾ ☌ ♄
	21.	16	☿ W 27
	27.	2	☾ ☌ ☿
	27.	8	☾ ☌ ♂
	28.	13	♀ E 45
Mai	2.	6	♀ ☌ ☾
	3.	17	♂ ☌ ☿
	15.	8	♃ ☌ ☾
	17.	8	☾ ☌ ♄
	26.	3	☾ ☌ ♂
	27.	8	♃ ☍ ☉
	28.	0	☾ ☌ ☿
	28.	—	☉ F
	29.	20	☉ ☌ ☿
	31.	0	☿ P
Mai	31.	11h	♀ ☌ ☾
	31.	19	♀ ✱✱✱
Juni	1.	18	♄ A
	11.	9	♃ ☌ ☾
	12.	—	☾ F
	13.	8	✱ ☌ ☿[1]
	13.	12	☾ ☌ ♄
	15.	15	♀ St
	18.	0	♆ ☌ ☉
	19.	1	♀ ☋
	21.	11	☉ im ♋
	21.	23	☿ ☌ ♀
	23.	6	♄ ☍ ☉
	23.	21	☾ ☌ ♂
	27.	22	♀ ☌ ☾
	28.	20	☿ ☌ ☾
Juli	2.	2	♁ A
	4.	2	☿ E 26
	8.	0	♀ ☌ ☉
	8.	14	♃ ☌ ☾
	8.	23	♄ A
	10.	17	☾ ☌ ♄
	13.	23	☿ A
	19.	7	♂ ☊
	22.	14	♂ ☌ ☾
	23.	10	♀ A
	24.	3	☾ ☌ ♀
	26.	20	☾ ☌ ☿
	28.	21	♃ St
	29.	15	♀ St
	31.	21	☿ ☌ ☉
Aug.	4.	22	♃ ☌ ☾
	7.	0	☾ ☌ ♄
	13.	21	♀ ✱✱✱
	17.	9	♅ St
	19.	3	☿ W 19
	20.	7	♂ ☌ ☾
	20.	23	☾ ☌ ♀
	23.	6	☿ ☌ ☾
	25.	10	♃ □ ☉
	26.	23	☿ P
Sept.	1.	0	♅ □ ☉
	2.	5	♄ St
	3.	9	☾ ☌ ♄
Sept.	13.	6h	☉ ☌ ☿
	17.	7	♀ W 46
	18.	1	♂ ☌ ☾
	19.	6	♀ ☌ ☾
	21.	18	♄ □ ☉
	22.	8	♆ □ ☉
	23.	1	☉ i. d. ♎
	24.	9	☿ ☌ ☾
	28.	22	♃ ☌ ☾
	30.	17	☾ ☌ ♄
Okt.	2.	7	♆ St
	9.	23	☿ A
	10.	5	♀ ☊
	16.	17	♂ ☌ ☾
	19.	8	♀ ☌ ☾
	19.	11	♃ ☌ ♅[2]
	25.	4	☾ ☌ ☿
	26.	13	☾ ☌ ♃
	28.	2	☾ ☌ ♄
	29.	17	☿ E 24
Nov.	12.	19	♀ P
	14.	6	♂ ☌ ☾
	18.	14	♀ ☌ ☾
	20.	1	☿ ☌ ☉
	21.	14	☿ ☌ ☾
	21.	20	♂ □ ☉
	21.	—	☉ F
	22.	22	☿ P
	23.	6	☾ ☌ ♃
	24.	13	☾ ☌ ♄
Dez.	4.	20	♅ ☌ ☉
	7.	16	☿ W 21
	12.	14	♂ ☌ ☾
	13.	22	♃ ☌ ☉
	18.	20	♀ ☌ ☾
	19.	17	♆ ☍ ☉
	20.	1	☿ ☌ ☾
	21.	2	☾ ☌ ♃
	21.	20	☉ im ♑
	22.	2	☾ ☌ ♄
	22.	4	☿ ☌ ♅
	29.	2	♄ ☌ ☉
	30.	5	♃ ☌ ☿

Die vorstehende Tafel giebt in zeitlicher Reihenfolge 1. unter den Bezeichnungen P und A die Perihelien und Aphelien der Planeten ☿, ♀, ♁, ♂, ♃, ♄, soweit sie in den betrachteten Zeitraum fallen; ♅ und ♆ gehen nicht durch die Apsiden; 2. die Knoten=

[1] Der ✱ ist ε Geminorum. Abstand 3′. [2] Abstand 25′.

durchgänge von ♀ und ♂, wobei ☊ den aufsteigenden, ☋ den niedersteigenden Knoten bezeichnet; ♃, ♄, ♅, ♆ erfahren keine Knotendurchgänge; 3. die Konjunktionen, Oppositionen und Quadraturen mit der ☉ für ♂, ♃, ♄, ♅, ♆; 4. für dieselben Planeten sowie für ♀ unter der Bezeichnung St die Stillstände; 5. für ☿ und ♀ die Konjunktionen mit der Sonne, wobei die Voranstellung des Planeten (z. B. 1898, April 30.) die untere, die Voranstellung der ☉ (z. B. 1899, Sept. 15.) die obere Konjunktion bedeutet; 6. für ☿ und ♀ die größten Elongationen nach Osten (E) und Westen (W); so hat z. B. 1899, Sept. 4. ☿ seine größte westliche Sonnen-Elongation von 18°; 7. für ☾, ☿, ♀, ♂, ♃, ♄ die Konjunktionen. Hierbei ist stets das Gestirn vorangestellt, welches geocentrisch nördlicher steht als das andere; 1899, Aug. 15. steht z. B. ♄ nördlicher als der ☾, 1899, Nov. 4. steht ☾ nördlicher als ☿. Beim Monde ist die Parallaxe zu beachten! 8. Einzelne Fixstern-Konjunktionen der Planeten; 9. die Finsternisse von ☉ und ☾ mit F. Genaueres über diese Finsternisse giebt jeder größere Kalender; 10. durch ✱✱✱ die Phase des größten Glanzes für ♀; 11. in leicht ersichtlicher Weise die Anfänge der Jahreszeiten.

Algols-Minima 1898—1900.

Periode $2^d\ 20^h\ 49^m$.

	1898.		1899.		1900.			1898.		1899.		1900.	
Januar	0^d	9^h	2^d	9^h	1^d	13^h	Juli	0^d	0^h	2^d	0^h	1^d	4^h
Februar	0	22	0	1	2	2	August	0	13	2	13	1	17
März	1	14	0	17	2	18	September	1	2	0	6	2	6
April	2	3	1	6	0	10	Oktober	2	15	1	19	0	22
Mai	0	19	2	19	1	23	November	0	7	2	7	1	11
—	—		—		—		Dezember	1	20	1	0	0	3

Die Tafel giebt die Minima zu Anfang der zwölf Monate eines jeden der drei Jahre; nur für den Juni sind keine Notizen gegeben, weil der Stern in diesem Monat und dem Mai doch nicht beobachtet werden kann. Mit Hilfe des Periodenwertes wird sich der Leser leicht die fehlenden Minima ausrechnen können, und zwar, da die Stundenzahlen der Tafel richtig angesetzt sind, mit einem Fehler von höchstens $^1/_2{}^h$. Vergleicht man die Algol-Periode mit dem Jahre von 365^d, so zeigt sich, daß die Minima von Jahr zu Jahr um ziemlich genau 2^d vorrücken oder um $20^1/_2{}^h$ zurückspringen müssen; 128 Perioden sind ungefähr gleich 367^d.

* * *

Dem Leser, welcher über alle bevorstehenden Himmelserscheinungen eingehender unterrichtet zu werden wünscht, sind folgende periodische Werke zu empfehlen: 1. The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris, — erscheint jährlich in London; Preis $2^1/_2$ sh. 2. Berliner Astronomisches Jahrbuch, — erscheint jährlich in Berlin; Preis *M.* 14. Während diese Werke das Wissenswerte in großer Vollständigkeit und streng wissenschaftlicher Form bieten, giebt 3. das Jahrbuch der Naturwissenschaften, welches jährlich bei Herder in Freiburg erscheint (Preis geb. *M.* 7), die Himmelserscheinungen in mehr populärer Form an, und zwar auch die Erscheinungen an den veränderlichen Sternen, welche von jenen größern Jahrbüchern nicht berücksichtigt werden. Am ausführlichsten werden die Veränderlichen in der Ephemeride von Dr. Hartwig behandelt, die alljährlich in der Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft erscheint, aber auch den Mitgliedern der Vereinigung von Freunden der Astronomie und kosmischen Physik zugänglich gemacht ist.

Folgende Himmelsatlanten sind zu empfehlen:

Argelander, Uranometria nova. Berlin, Simon Schropp & Co., 1843. Nur mehr antiquarisch für ungefähr *M.* 15 erhältlich.

Heis, Atlas coelestis novus. Köln, Du Mont Schauberg, 1872. — Enthält eine vorzügliche Milchstraßenzeichnung. Preis *M.* 22.50 einschließlich Sternverzeichnis.

C. Behrmann, Atlas des nördlichen gestirnten Himmels. Leipzig, F. A. Brockhaus, 1874. Enthält die Sterne von — 20° bis — 90° Decl, ergänzt also die beiden vorgenannten Werke, die nur die im mittlern Europa sichtbaren Sterne darstellen.

J. Messer, Sternatlas für Himmelsbeobachtungen. St. Petersburg, Karl Ricker, 1888. In 4° und in 8° zu haben, beide Ausgaben mit eingehendem Texte *M.* 10. Decl + 90° bis — 35°.

H. J. Klein, Sternatlas für Freunde der Himmelsbeobachtung. Decl + 90° bis — 34°. Leipzig, E. H. Mayer, 1888. *M.* 15. — Berücksichtigt, wie Messer, auch teleskopische Objekte.

R. Schurig, Tabulae caelestes. Leipzig, K. Fr. Pfau, 1886. Umfaßt den ganzen Himmel. Preis *M.* 3.

C. Rohrbach, Sternkarten in gnomonischer Projektion. Vgl. S. 467 dieses Buches.

Die Karten der Bonner Durchmusterung (vgl. S. 485 ff.), die z. B. das Studium der schwächern veränderlichen Sterne ermöglichen, werden nur begüterten Lesern zugänglich sein. Solche wird es aber interessieren zu erfahren, daß die gänzlich vergriffenen Argelanderschen Karten (+ 90° bis — 2°) gegenwärtig neu gedruckt und auf Bestellungen, die bis zum 1. Mai bei der Verlagshandlung (Marcus & Weber in Bonn) eingehen, zu einem Vorzugspreise abgegeben werden.

Zusammenstellung der wichtigsten Konstanten für die acht großen Planeten.

Planet.		Mittlerer Abstand von der Sonne in astronomischen Einheiten.	Mittlerer Abstand von der Sonne in Millionen von myriom.	Siderische Umlaufszeit in Tagen.	Excentricität.	Knoten.	Neigung.	Äquator-Durchmesser in myriom.	Masse ☉/Planet.	
☿	Merkur	0,39	5,79	88	0,2051	47°	7°,0	468	8400000	☿
♀	Venus	0,72	10,81	225	0,0068	76	3,4	1220	409000	♀
♁	Erde	1,00	14,95	365	0,0168	—	0,0	1276	331301	♁
♂	Mars	1,52	22,78	687	0,0934	48	1,9	687	3100000	♂
♃	Jupiter	5,20	77,77	4333	0,0483	99	1,3	14100	1047	♃
♄	Saturn	9,54	142,59	10759	0,0559	113	2,5	12280	3500	♄
♅	Uranus	19,18	286,75	30689	0,0465	74	0,8	5310	22600	♅
♆	Neptun	30,06	449,29	60187	0,0085	131	1,8	4880	18800	♆

Die Zahlen sind in starker Abkürzung gegeben. Die mittlern Sonnenabstände, also die großen Bahnhalbachsen, findet man S. 240 genauer logarithmisch angegeben; desgleichen logarithmisch und numerisch die Umlaufszeiten. — Die linearen Werte der mittlern Sonnenabstände und der Äquatordurchmesser beziehen sich auf die ☉-Parallaxe 8″,80. Genaueres über die Größe und Gestalt findet man bei den einzelnen Planeten, insbesondere bei ♂, ♃, ♄ und ♅ angegeben; auch das Wichtigste über die Monde. — Man vergleiche noch das 20. Kapitel; bezüglich der Massen besonders S. 263 ff.

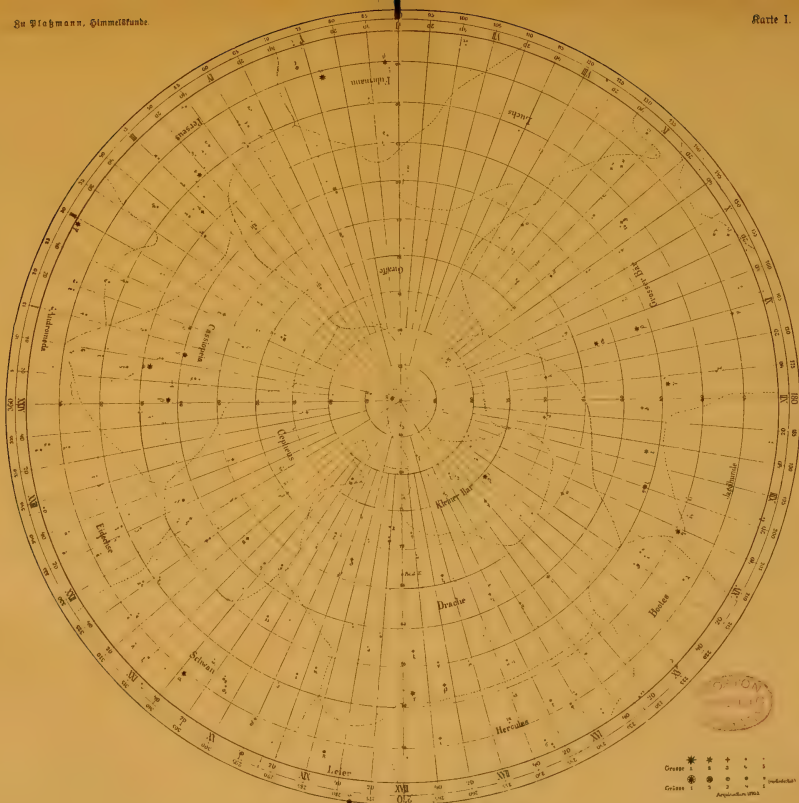
Alphabetisches Register.

Bemerkungen. Die Namen einzelner Fixsterne, über welche sich besondere Angaben finden, sind im allgemeinen neben den lateinischen Namen der Sternbilder angegeben. Man suche also z. B. Ursae maioris g unter U, und nicht bei den Stichwörtern Bär, Himmelswagen, Alkor, Reiterlein oder bei g. Von dieser Regel ist nur bei den gebräuchlichsten Eigennamen abgegangen worden; indessen wurde dann doch bei dem Sternbilde auf den Eigennamen hingewiesen, bei Canis maior z. B. auf Sirius. Die weniger bekannten Eigennamen, soweit sie überhaupt Interesse haben, findet man S. 37—38 alphabetisch aufgeführt. Die lateinischen und deutschen Namen der Sternbilder stehen S. 33—35.

Auch die Veränderlichen, die Sternhaufen und Nebel sind bei den einzelnen Sternbildern zu suchen; nur die Novae sind unter diesem Stichworte zusammengestellt.

Die Mondgebirge, mit Ausnahme der besonders besprochenen, sind hier weggelassen und auf S. 371—372 zu suchen.

In einzelnen Fällen ist der Ort, wo das Wichtigste über einen Gegenstand gefunden wird, durch * hervorgehoben.



Circumpolarsterne für den 50. Grad nördlicher Breite.

Der nördliche Sternhimmel.



✸	1. Grösse
✸	2. „
✶	3. „
✦	4. „
•	5. „

28 Fische 27 Andromeda
29 Cassiopeia 31 Walfisch
30 Widder
32 Perseus (Algol)
33 Plejaden
35 Eridanus
(Hyaden)
34 Stier (Aldebaran)
60 (Capella) Fuhrmann 36
37 Orion (Beteigeuze, Rigel)
38 Hase
39 Gr. Hund (Sirius)
40 Zwillinge (Pollux, Castor)
41 Kl. Hund (Procyon)
42 Krebs
43 Hydra
2 Kl. Löwe
3. Gr. Löwe (Denebola, Regulus)
4 Kl. Bär (Polaris)
1 Gr. Bär
6 Jungfrau (Spica)
7 Rabe 5 Berenice
9 Bootes (Arcturus)
8 Drache
11 Waage
10 Krone
13 Scorpion (Antares)
12 Schlange
14 Herkules
15 Schlangenträger
16 Leyer (Wega)
17 Adler (Atair)
18 Antinous
19 Schütze
20 Schwan (Deneb)
21 Delphin
22 Kl. Pferd
23 Steinbock
24 Cepheus
25 Pegasus
26 Wassermann
F Fomalhaut im südl. Fisch

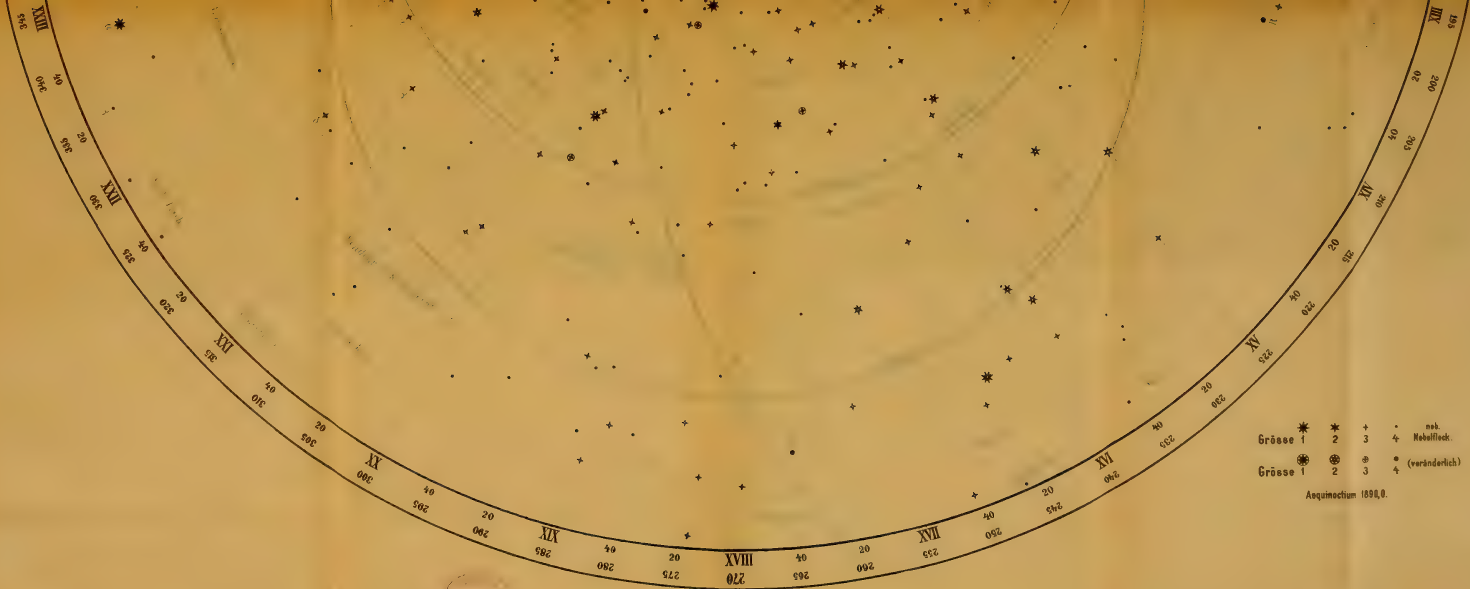
360 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180 195 210 225 240 255 270 285 300 315 330 345

Verlag von Herder in Freiburg.

Zu **Plassmann**, Himmelskunde.



Karte III.
90
VI
85
80
75
V
70
65
60
IV
55
50
45
III
40
35
30
II
25
20
15
I
10
5
360°
XXIV 0
355
350
345
XXIII
95
100
105
VII
110
115
120
VIII
125
130
135
IX
140
145
150
X
155
160
165
XI
170
175
180
XII
185
190
195
XIII



J. Pl. & P. Am.
fec. ao. 1889.

Sternkarte
für das nördliche u. mittlere Europa.

Verlag von Ferdinand Schoeningh in Paderborn



